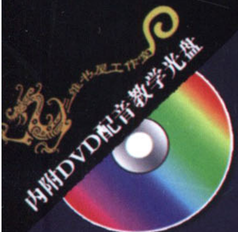



计算机辅助设计课程教学规划教材
JISUANJIFUZHUSHEJIKECHENGJIAOXUEGUIHUAJIAOCAI

三维书屋工作室
胡仁喜 任成才 秦少刚 等编著

# Altium Designer 13 中文版标准实例教程








机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

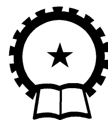
VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

# Altium Designer 13
# 中文版标准实例教程

三维书屋工作室

胡仁喜　任成才　秦少刚　等编著



机械工业出版社

全书以 Protel 的最新版本 Altium Designer 13 为平台，介绍了电路设计的方法和技巧，主要包括 Altium Designer 13 概述、原理图设计基础、原理图的绘制、原理图的后续处理、层次结构原理图的设计、原理图编辑中的高级操作、PCB 设计基础知识、PCB 的布局设计、印制电路板的布线、电路板的后期制作、创建元件库及元件封装、电路仿真系统、信号完整性分析、自激多谐振荡器电路设计实例和游戏机电路设计实例。本书的介绍由浅入深，从易到难，各章节既相对独立又前后关联。在介绍的过程中，编者根据自己多年的经验及教学心得，给出总结和提示，帮助读者快捷地掌握相关知识。全书内容讲解详实，图文并茂，思路清晰。

随书赠送的多媒体教学光盘包含全书实例操作过程的视频讲解文件和实例源文件，读者可以通过光盘方便、直观地学习本书内容。

本书可以作为初学者的入门教材，也可以作为电路设计及相关行业工程技术人员及各院校相关专业师生的学习参考。

**图书在版编目(CIP)数据**

Altium Designer 13 中文版标准实例教程/胡仁喜等编著.
—2 版.—北京：机械工业出版社，2013.8
ISBN 978-7-111-43713-0
Ⅰ.①A… Ⅱ.①胡… Ⅲ.①印刷电路—计算机辅助
设计—应用软件—教材Ⅳ.①TN410.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 195500 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号邮政编码 100037)
责任编辑：曲彩云　　责任印制：杨曦
北京中兴印刷有限公司印刷
2013 年 9 月第 2 版第 1 次印刷
184mm×260mm ・32.25 印张・573 千字
0 001—3 000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-43713-0
　　　　　ISBN 978-7-89405-068-7（光盘）
定价：59.00 元（含 1DVD）

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

策划编辑：（010）88379782

电话服务
社服务中心：（010）88361066
销售一部：（010）68326294
销售二部：（010）88379649
读者购书热线：（010）88379203

网络服务
教材网: http://www.cmpedu.com
机工官网： http://www.cmpbook.com
机工官博： http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

# 前　　言

自 20 世纪 80 年代中期以来，计算机应用已进入各个领域并发挥着越来越大的作用。在这种背景下，美国 ACCEL Technologies Inc 公司推出了第一个应用于电子线路设计的软件包—TANGO。这个软件包开创了电子设计自动化（EDA）的先河。该软件包现在看来比较简陋，但在当时给电子线路设计带来了设计方法和方式的革命，人们开始用计算机来设计电子线路。直到今天在国内许多科研单位还在使用这个软件包。在电子工业飞速发展的时代，TANGO 日益显示出不适应时代发展需要的弱点。为了适应科学技术的发展，Protel Technology 公司以其强大的研发能力推出了 Protel For Dos，从此 Protel 这个名字在业内日益响亮。

Protel 系列是进入我国最早的电子设计自动化软件，一直以易学易用而深受广大电子设计者的喜爱。Altium Designer 13 作为新一代的板卡级设计软件，其独一无二的 DXP 技术集成平台为设计系统提供了所有工具和编辑器的兼容环境。

Altium Designer 13 是一套完整的板卡级设计系统，真正实现了在单个应用程序中的集成。Altium Designer 13 PCB 线路图设计系统完全利用了 Windows XP 平台的优势，具有更好的稳定性、增强的图形功能和超强的用户界面，设计者可以选择最适当的设计途径以最优化的方式工作。

本书以 Altium Designer 13 为平台，介绍了电路设计的方法和技巧。全书共 15 章，内容包括 Altium Designer 13 概述、原理图设计基础、原理图的绘制、原理图的后续处理、层次结构原理图的设计、原理图编辑中的高级操作、PCB 设计基础知识、PCB 的布局设计、印制电路板的布线、电路板的后期制作、创建元件库及元件封装、电路仿真系统、信号完整性分析、自激多谐振荡器电路设计实例、游戏机电路设计实例。

本书的介绍由浅入深，从易到难，各章节既相对独立又前后关联。在介绍的过程中，编者根据自己多年的经验及教学心得，适当给出总结和相关提示，以帮助读者快捷地掌握所学知识。全书内容讲解详实，图文并茂，思路清晰。

本书可以作为初学者的入门教材，也可以作为相关行业工程技术人员及各院校相关专业师生的学习参考书。

随书配送的多媒体教学光盘包含全书实例操作过程的视频讲解文件和实例源文件，读者可以通过光盘方便、直观地学习本书内容。

本书由三维书屋工作室总策划，主要由胡仁喜、任成才和秦少刚编写。周冰、王敏、刘昌丽、王艳池、康士廷、王培合、张俊生、王兵学、路纯红、王义发、董伟、王玉秋、李瑞、阳平华、夏德伟、孟清华、王渊峰、袁涛、王佩楷、王文平、张日晶、董荣荣、王玮等人员也参加了部分章节的编写工作。

由于时间仓促，加上编者水平有限，书中不足之处在所难免，望广大读者登录网站 www.sjzsanweishuwu.com 或发送邮件到 win760520@126.com 批评指正，编者将不胜感激。

编　　者

# 目　录

前言
第 1 章　Altium Designer 13 概述........1
1.1　Altium Designer 13 的主窗口........2
1.1.1　菜单栏........2
1.1.2　工具栏........10
1.1.3　工作窗口........10
1.1.4　工作面板........11
1.2　Altium Designer 13 的文件管理系统........11
1.2.1　项目文件........12
1.2.2　自由文件........12
1.2.3　存盘文件........12
第 2 章　原理图设计基础........13
2.1　原理图的组成........14
2.2　原理图编辑器界面简介........15
2.2.1　菜单栏........15
2.2.2　工具栏........16
2.2.3　工作窗口和工作面板........17
2.3　原理图图样设置........18
2.4　设置原理图工作环境........19
2.4.1　设置原理图的常规环境参数........19
2.4.2　设置图形编辑环境参数........20
2.5　加载元件库........20
2.5.1　打开“库”面板........21
2.5.2　加载和卸载元件库........21
2.6　放置元件........22
2.6.1　搜索元件........22
2.6.2　放置元件........24
2.6.3　调整元件位置........26
2.6.4　元件的排列与对齐........28
2.6.5　元件的属性设置........29
第 3 章　原理图的绘制........32
3.1　原理图连接工具........33
3.2　元件的电气连接........34
3.2.1　放置导线........34
3.2.2　放置总线........35
3.2.3　放置总线入口........36

3.2.4　手动连接 ........................................................................................................36
3.2.5　放置电源和接地符号 ........................................................................................38
3.2.6　放置网络标号 ....................................................................................................39
3.2.7　放置输入/输出端口 ...........................................................................................39
3.2.8　放置忽略 ERC 测试点.......................................................................................40
3.2.9　放置 PCB 布线指示...........................................................................................41
3.3　使用绘图工具绘图 .................................................................................................43
3.3.1　绘图工具 ............................................................................................................43
3.3.2　绘制直线 ............................................................................................................43
3.4　操作实例——音乐闪光灯电路设计.....................................................................44
第 4 章　原理图的后续处理..............................................................................................52
4.1　原理图中的常用操作 .............................................................................................53
4.1.1　工作窗口的缩放 ................................................................................................53
4.1.2　刷新原理图 ........................................................................................................54
4.1.3　高级粘贴 ............................................................................................................54
4.1.4　查找与替换 ........................................................................................................56
4.2　报表打印输出 .........................................................................................................59
4.2.1　打印输出 ............................................................................................................59
4.2.2　网络表 ................................................................................................................60
4.2.3　基于整个项目的网络表 ....................................................................................60
4.2.4　基于单个原理图文件的网络表.........................................................................62
4.2.5　生成元件报表 ....................................................................................................63
4.3　操作实例——音量控制电路 .................................................................................67
第 5 章　层次结构原理图的设计......................................................................................80
5.1　层次结构原理图的基本结构和组成.....................................................................81
5.2　层次结构原理图的设计方法 .................................................................................82
5.2.1　自上而下的层次原理图设计.............................................................................82
5.2.2　自下而上的层次原理图设计.............................................................................87
5.3　层次结构原理图之间的切换 .................................................................................90
5.3.1　由顶层原理图中的原理图符号切换到相应的子原理图.................................90
5.3.2　由子原理图切换到顶层原理图.........................................................................91
5.4　层次设计表 .............................................................................................................92
5.5　操作实例 .................................................................................................................93
第 6 章　原理图编辑中的高级操作..................................................................................98
6.1　工具的使用 .............................................................................................................99
6.1.1　自动分配元件标号 ............................................................................................99
6.1.2　回溯更新原理图元件标号 ................................................................................99
6.2　元件编号管理 .......................................................................................................100

6.3　元件的过滤 ........ 102
6.4　在原理图中添加 PCB 设计规则 ........ 104
6.4.1　在对象属性中添加设计规则 ........ 104
6.4.2　在原理图中放置 PCB Layout 标志 ........ 105
6.5　使用 Navigator（导航）面板进行快速浏览 ........ 107
6.6　原理图的电气检测及编译 ........ 108
6.6.1　原理图的自动检测设置 ........ 109
6.6.2　原理图的编译 ........ 110
6.6.3　原理图的修正 ........ 111
6.7　操作实例——电脑麦克风电路原理图 ........ 112
第 7 章　PCB 设计基础知识 ........ 121
7.1　PCB 编辑器界面简介 ........ 122
7.1.1　菜单栏 ........ 122
7.1.2　工具栏 ........ 122
7.2　新建 PCB 文件 ........ 123
7.2.1　利用 PCB 设计向导创建 PCB 文件 ........ 123
7.2.2　利用菜单命令创建 PCB 文件 ........ 125
7.2.3　利用模板创建 PCB 文件 ........ 125
7.3　PCB 面板的应用 ........ 126
7.4　电路板物理结构及编辑环境参数设置 ........ 129
7.4.1　电路板物理边框的设置 ........ 129
7.4.2　电路板图样的设置 ........ 133
7.4.3　电路板层的设置 ........ 136
7.4.4　电路板层显示与颜色设置 ........ 140
7.4.5　PCB 布线区的设置 ........ 141
7.5　在 PCB 文件中导入原理图网络表信息 ........ 142
7.5.1　装载元件封装库 ........ 142
7.5.2　设置同步比较规则 ........ 142
7.5.3　导入网络报表 ........ 143
7.5.4　原理图与 PCB 图的同步更新 ........ 145
第 8 章　PCB 的布局设计 ........ 149
8.1　元件的自动布局 ........ 150
8.1.1　自动布局约束参数 ........ 150
8.1.2　元件的自动布局 ........ 153
8.1.3　自动布局的终止 ........ 156
8.1.4　推挤式自动布局 ........ 156
8.1.5　导入自动布局文件进行布局 ........ 157
8.2　元件的手动布局 ........ 157

8.2.1 元件说明文字的调整 ......158
8.2.2 元件间距的调整 ......158
8.2.3 移动元件到格点处 ......158
8.2.4 元件手动布局的具体步骤 ......159
8.3 3D 效果图 ......160
8.4 网络密度分析 ......161
8.5 操 作 实 例 ......161
8.5.1 单片机系统 PCB 的布局设计 ......161
8.5.2 LED 显示电路的布局设计 ......167
第 9 章 印制电路板的布线 ......172
9.1 电路板的自动布线 ......173
9.1.1 设置 PCB 自动布线的规则 ......173
9.1.2 设置 PCB 自动布线的策略 ......193
9.1.3 电路板自动布线的操作过程 ......195
9.2 电路板的手动布线 ......199
9.2.1 拆除布线 ......199
9.2.2 手动布线 ......200
9.3 添加安装孔 ......200
9.4 覆铜和补泪滴 ......201
9.4.1 执行覆铜命令 ......202
9.4.2 设置覆铜属性 ......202
9.4.3 放置覆铜 ......203
9.4.4 补泪滴 ......204
9.5 操作实例——LED 显示电路印制电路板的布线 ......205
第 10 章 电路板的后期制作 ......210
10.1 电路板的测量 ......211
10.2 设计规则检查 ......211
10.2.1 在线 DRC 和批处理 DRC ......213
10.2.2 对未布线的 PCB 文件执行批处理 DRC ......214
10.2.3 对已布线完毕的 PCB 文件执行批处理 DRC ......215
10.3 输出电路板相关报表 ......216
10.3.1 PCB 图的网络表文件 ......216
10.3.2 PCB 的信息报表 ......217
10.3.3 元件清单 ......218
10.3.4 简略元件清单 ......219
10.3.5 网络表状态报表 ......220
10.4 印制电路板图的打印输出 ......220
10.4.1 打印 PCB 文件 ......220

10.4.2 打印报表文件 ......223
10.4.3 生成 Gerber 文件 ......223
10.5 操 作 实 例 ......224
10.5.1 电路板信息及网络状态报表......224
10.5.2 电路板元件清单 ......226
10.5.3 PCB 图纸打印输出......228
10.5.4 生产加工文件输出 ......239
第 11 章 创建元件库及元件封装......233
11.1 创建原理图元件库......234
11.1.1 元件库面板 ......234
11.1.2 工具栏 ......235
11.1.3 设置元件库编辑器工作区参数......237
11.1.4 绘制库元件 ......238
11.1.5 绘制含有子部件的库元件......243
11.2 创建 PCB 元件库及元件封装 ......244
11.2.1 封装概述 ......244
11.2.2 常用元件封装介绍 ......245
11.2.3 PCB 库编辑器......246
11.2.4 PCB 库编辑器环境设置......247
11.2.5 用 PCB 元件向导创建规则的 PCB 元件封装......250
11.2.6 手动创建不规则的 PCB 元件封装 ......253
11.3 元件封装检查和元件封装库报表......255
11.4 实例——创建 USB 采集系统项目元件库 ......257
11.4.1 创建原理图项目元件库 ......257
11.4.2 使用项目元件库更新原理图......258
11.4.3 创建项目 PCB 元件封装库 ......262
11.4.4 创建集成元件库 ......263
第 12 章 电路仿真系统......265
12.1 放置电源及仿真激励源 ......266
12.2 仿真分析的参数设置 ......267
12.2.1 常规参数的设置 ......268
12.2.2 仿真方式 ......270
12.3 特殊仿真元件的参数设置 ......270
12.3.1 节点电压初值 ......270
12.3.2 节点电压 ......271
12.3.3 仿真数学函数 ......273
12.3.4 实例——正弦函数和余弦函数......273
12.4 操作实例 ......278

12.4.1　555 单稳态多谐振荡器仿真....278
12.4.2　电源电路仿真....281
第 13 章　信号完整性分析....285
13.1　信号完整性分析规则设置....286
13.2　设定元件的信号完整性模型....291
13.2.1　在信号完整性分析之前设定元件的 SI 模型....292
13.2.2　在信号完整性分析过程中设定元件的 SI 模型....293
13.3　信号完整性分析器设置....295
13.4　实例——某复杂电路板信号完整性分析....299
第 14 章　自激多谐振荡器电路设计实例....304
14.1　从 Schematic 到 PCB 的设计流程....305
14.1.1　原理图的输入....305
14.1.2　设置项目选项....311
14.1.3　仿真前准备....314
14.1.4　电路仿真....315
14.2　创建 PCB 文件....316
14.2.1　创建一个新的 PCB 文件....317
14.2.2　资料转移....320
14.3　电路板设计....322
14.3.1　零件布置....322
14.3.2　电路板布线....322
第 15 章　游戏机电路设计实例....324
15.1　实例设计说明....324
15.1.1　中央处理器....325
15.1.2　图形处理器....325
15.1.3　接口电路....326
15.1.4　射频调制电路....327
15.1.5　制式转换电路....327
15.1.6　电源电路....328
15.1.7　时钟电路....328
15.1.8　光电枪电路....328
15.1.9　控制盒电路....329
15.2　创建项目文件....330
15.3　原理图输入....330
15.3.1　绘制层次结构原理图的顶层电路图....330
15.3.2　绘制层次结构原理图子图....332
15.3.3　原理图元件的自动标注....345
15.3.4　自下而上的层次结构原理图设计方法....347

15.4　层次原理图间的切换 ......348
15.4.1　从顶层原理图切换到原理图符号对应的子图 ......348
15.4.2　从子原理图切换到顶层原理图 ......349
15.5　元件清单 ......349
15.6　设计电路板 ......351
15.6.1　印制电路板设计初步操作 ......351
15.6.2　布线设置 ......355
15.7　项目层次结构组织文件 ......359

第 1 章

# Altium Designer 13 概述

本章将从Altium Designer 13的功能特点讲起，介绍Altium Designer 13的界面环境及基本操作方式，使读者从总体上了解和熟悉软件的基本结构和操作流程。

知 识 点

- Altium Designer 13的界面环境
- Altium Designer 13的文件管理

# 1.1 Altium Designer 13 的主窗口

Altium Designer 13 启动后便可进入主窗口，如图 1-1 所示。用户可以在该窗口中进行项目文件的操作，如创建新项目、打开文件等。

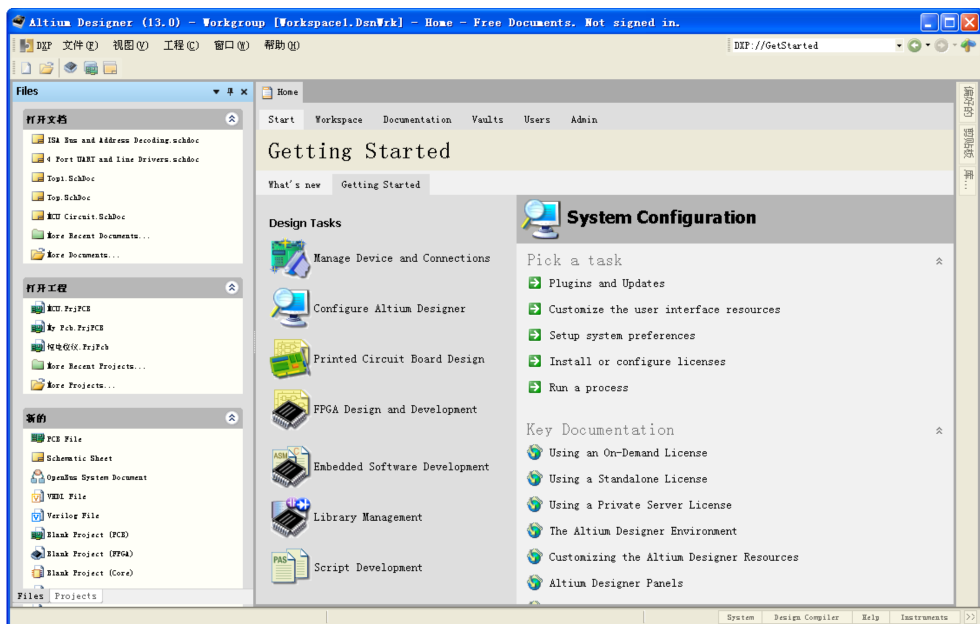



图 1-1 Altium Designer 13 的主窗口

主窗口类似于 Windows 的界面风格，主要包括菜单栏、工具栏、工作窗口、工作面板、状态栏及导航栏 5 个部分。

## 1.1.1 菜单栏

菜单栏包括一个用户配置按钮 DXP 和文件（F）、视图(V)、工程（C）、窗口（W）、帮助（H）5 个菜单。

1. 用户配置按钮 DXP

单击该配置按钮会弹出配置菜单，该菜单包含一些用户配置命令。

- “我的账户”：用于管理用户授权协议，如设置授权许可的方式和数量。单击该命令弹出“Home”选项卡，如图 1-1 右侧区域。
- “参数选择”命令：用于设置 Altium Designer 的系统参数，包括资料备份和自动保存设置、字体设置、工程面板的显示、环境参数设置等。单击该命令将弹出如图 1-2 所示的“参数选择”对话框。

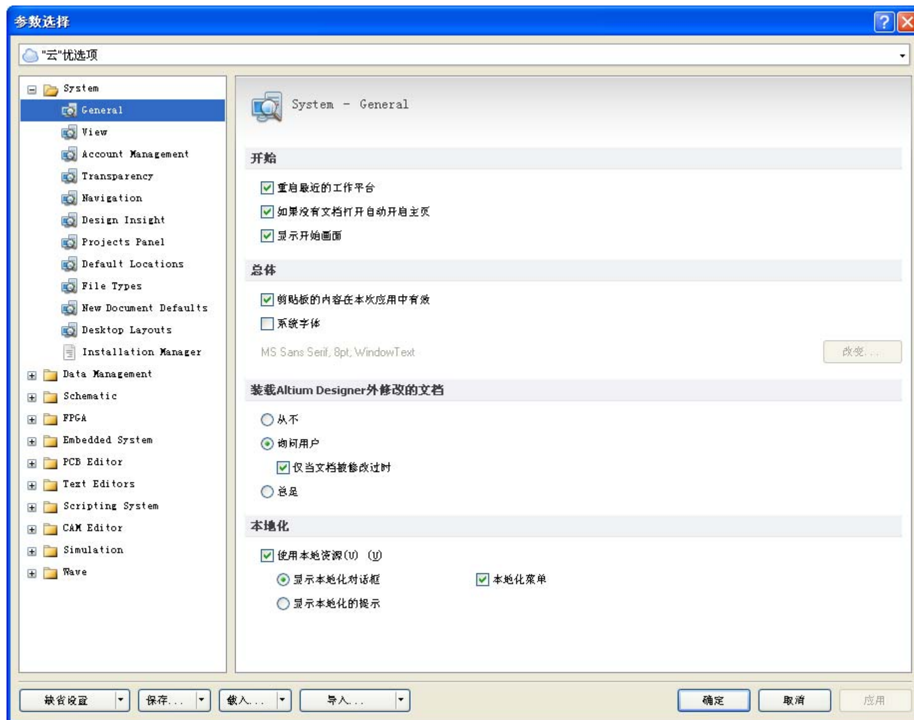



图 1-2　“参数选择”对话框

- “连接的器件”命令：单击该命令在主界面右侧弹出如图 1-3 所示的“Device”选项卡，在选项卡中显示要连接的器件。单击右上角“设置”按钮，弹出“参数选择”对话框，自动打开“FPGA Deviced View”选项卡，如图 1-4 所示。

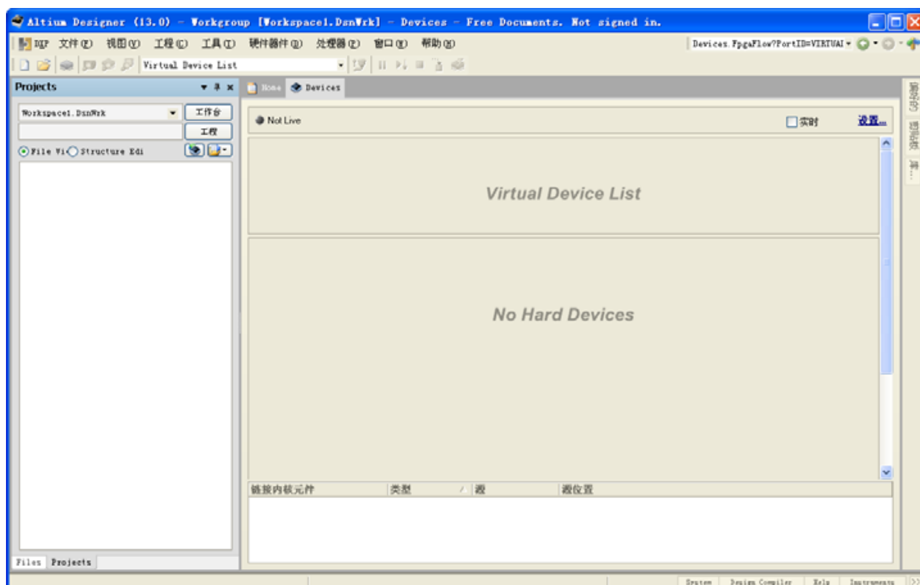



图 1-3　“Device”选项卡

- “插件与更新”命令：用于检查软件更新，单击该命令在主界面右侧弹出如图 1-5 所示的“Home”选项卡。
- “下载”命令：用于下载 Altium Designer 新版本。
- “数据保险库浏览器”命令：用于打开“Value”对话框连接浏览器，显示数据保险库。
- “出版的目的文件”命令：用于设置用于出版的目的文件的参数，弹出“参数选择”对话框，设置对应选项卡。
- “设计储存库”命令：选择此命令弹出“参数选择”对话框，设置对应选项卡。
- “设计发布”命令：单击该命令在主界面右侧弹出“PCB Release”选项卡。
- “Altium 论坛”命令：单击该命令在主界面右侧弹出“Altium 论坛”网页，显示关于 Altium 的讨论内容。
- “Altium Wiki”命令：单击该命令在主界面右侧弹出“Altium Altium Wiki”网页，显示关于 Altium 的内容。
- “自定制”命令：用于自定义用户界面，如移动、删除、修改菜单栏或菜单选项，创建或修改快捷键等。单击该命令弹出的“Customizing PickATask Editor（定制原理图编辑器）”对话框如图 1-6 所示。

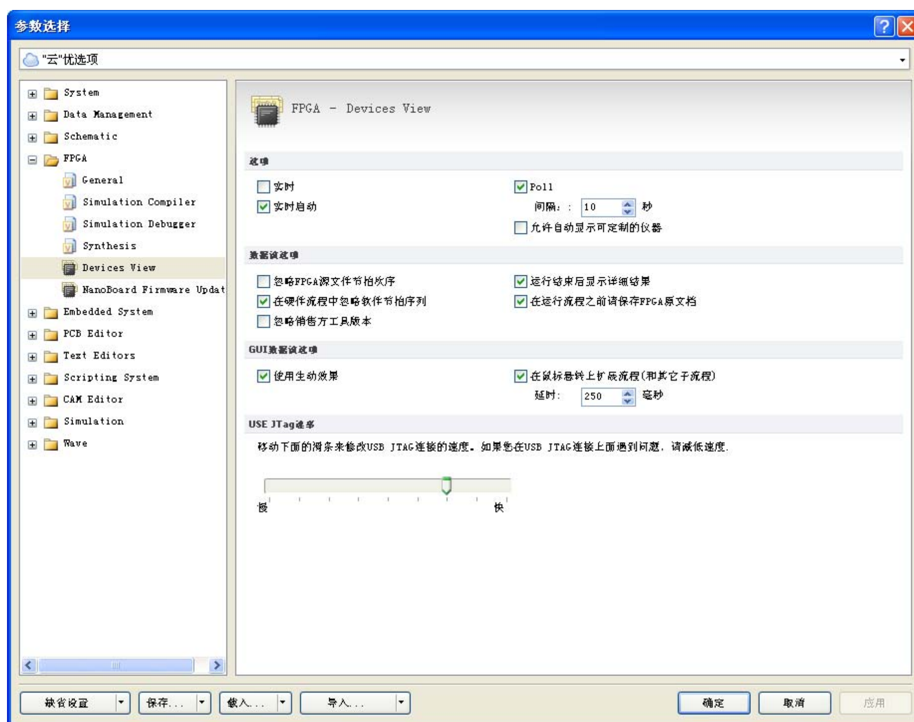



图 1-4 “参数选择”对话框“FPGA Deviced View”选项卡

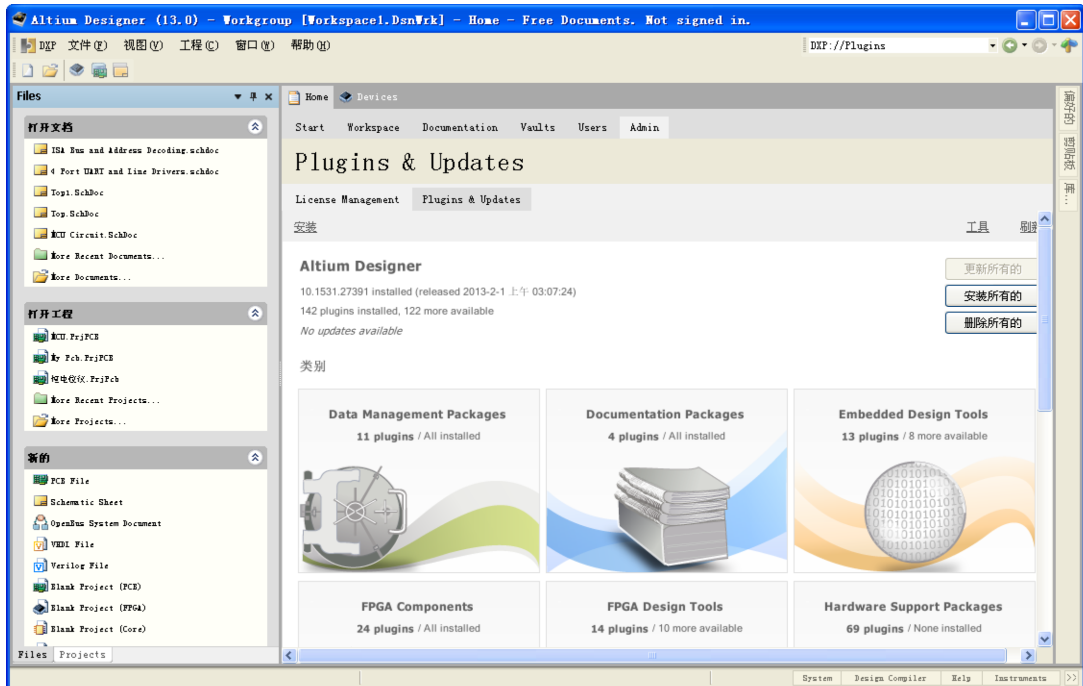


图 1-5 显示插件与更新

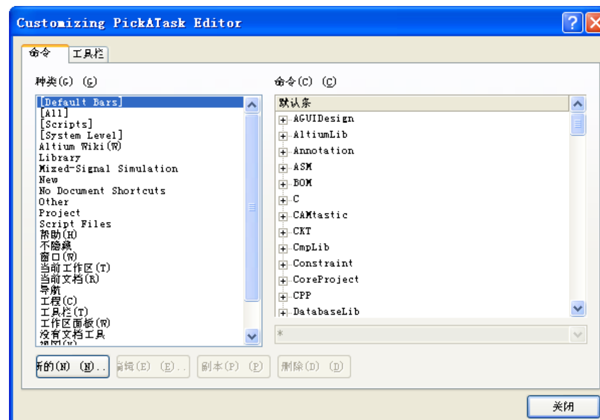


图 1-6 “Customizing PickATask Editor”对话框

- “运行进程”命令：提供了以命令行方式启动某个进程的功能，可以启动系统提供的任何进程。单击该命令弹出“运行过程”对话框，如图 1-7 所示，单击其中的“浏览”按钮弹出“处理浏览”对话框如图 1-8 所示。

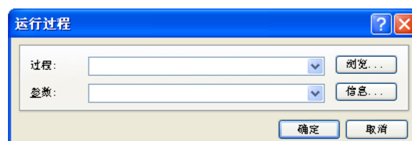


图 1-7 “运行过程”对话框

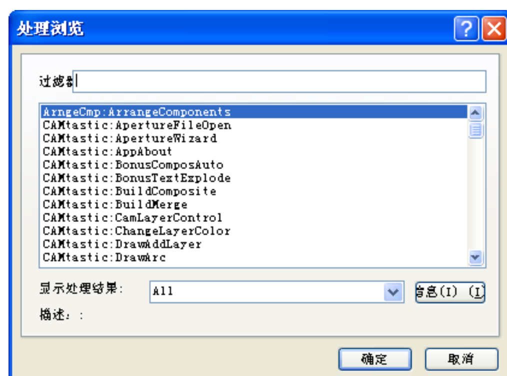



图 1-8　“处理浏览”对话框

- “运行脚本”命令：用于运行各种脚本文件，如用 Delphi、VB、Java 等语言编写的脚本文件。

2.“文件”菜单

“文件”菜单主要用于文件的新建、打开和保存等，如图 1-9 所示。下面详细介绍“文件”菜单中的各命令及其功能。

- “新建”命令：用于新建一个文件，其子菜单如图 1-9 所示。
- “打开”命令：用于打开已有的 Altium Designer 13 可以识别的各种文件。
- “打开工程”命令：用于打开各种项目文件。
- “打开设计工作区”命令：用于打开设计工作区。
- “保存工程”命令：用于保存当前的项目文件。
- “检出”命令：用于从设计储存库中选择模板。
- “保存工程为”命令：用于另存当前的项目文件。
- “保存设计工作区”命令：用于保存当前的设计工作区。
- “保存设计工作区为”命令：用于另存当前的设计工作区。
- “全部保存”命令：用于保存所有文件。
- “智能 PDF”命令：用于生成 PDF 格式设计文件的向导。
- “导入向导”命令：用于将其他 EDA 软件的设计文档及库文件导入 Altium Designer 的导入向导，如 Protel 99SE、CADSTAR、Orcad、P-CAD 等设计软件生成的设计文件。
- “元件发布管理器”命令：用于设置发布文件参数及发布文件。
- “当前文档”命令：用于列出最近打开过的文件。
- “最近的工程”命令：用于列出最近打开过的项目文件。
- “当前工作区”命令：用于列出最近打开过的设计工作区。
- “退出”命令：用于退出 Altium Designer 13。

3.“视图”菜单

“视图”菜单主要用于工具栏、工作面板、命令行及状态栏的显示和隐藏，如图 1-10 所示。

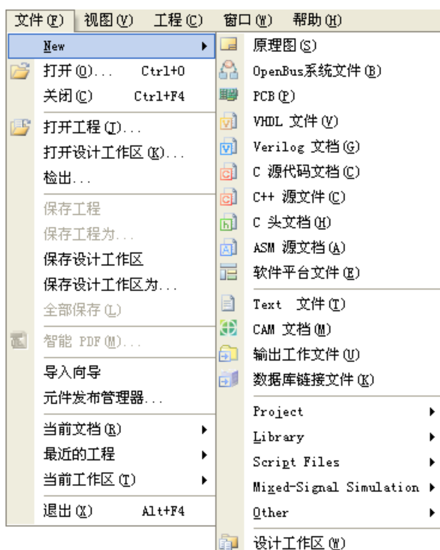



图 1-9 “文件”菜单

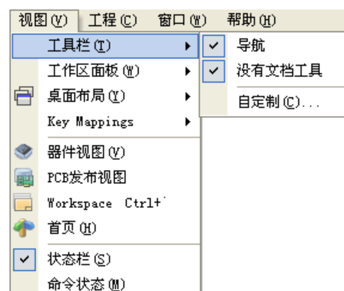



图 1-10 “视图”菜单

（1）“工具栏”命令：用于控制工具栏的显示和隐藏，其子菜单如图 1-10 所示。

（2）“工作区面板”命令：用于控制工作面板的打开与关闭，其子菜单如图 1-11 所示。

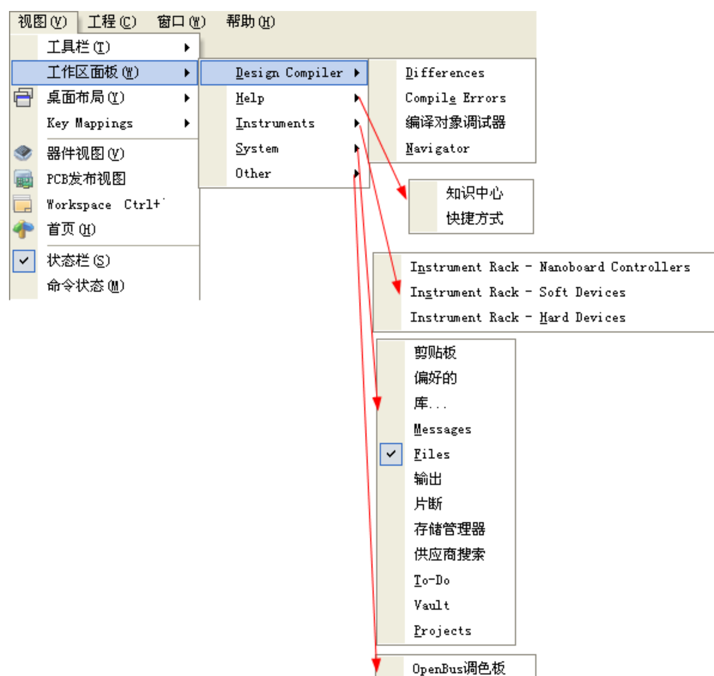



图 1-11 “工作区面板”命令子菜单

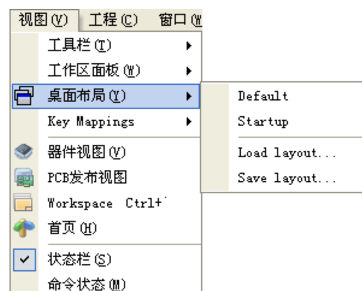



图 1-12 “桌面布局”命令子菜单

- “Design Compiler（设计编译器）”命令：用于控制设计编译器相关面板的打开与关闭，包括编译过程中的差异、编译错误信息、编译对象调试器及编译导航等面板。
- “Help（帮助）”命令：用于控制帮助面板的打开与关闭。

- “Instruments（设备）”命令：用于控制设备机架面板的打开与关闭，其中包括 Nanoboard 控制器、软件设备和硬件设备 3 个部分。
- “System（系统）”命令：用于控制系统工作面板的打开和隐藏。其中，“Libraries（元件库）”、“Messages（信息）”、“Files（文件）”和“Projects（工程）”工作面板比较常用，后面章节将详细介绍。
- “Other（其他的）”命令：介绍其他命令，如“OpenBus 调色板”命令。

（3）“桌面布局”命令：用于控制桌面的显示布局，其子菜单如图 1-12 所示。

- “Default（默认）”命令：用于设置 Altium Designer 13 为默认桌面布局。
- “Startup（启动）”命令：用于当前保存的桌面布局。
- “Load layout（载入布局）”命令：用于从布局配置文件中打开一个 Altium Designer 13 已有的桌面布局。
- “Save layout（保存布局）”命令：用于保存当前的桌面布局。

（4）“Key Mapping（映射）”命令：用于快捷键与软件功能的映射，提供了两种映射方式供用户选择。

（5）“器件视图”命令：用于打开器件视图窗口，如图 1-13 所示。

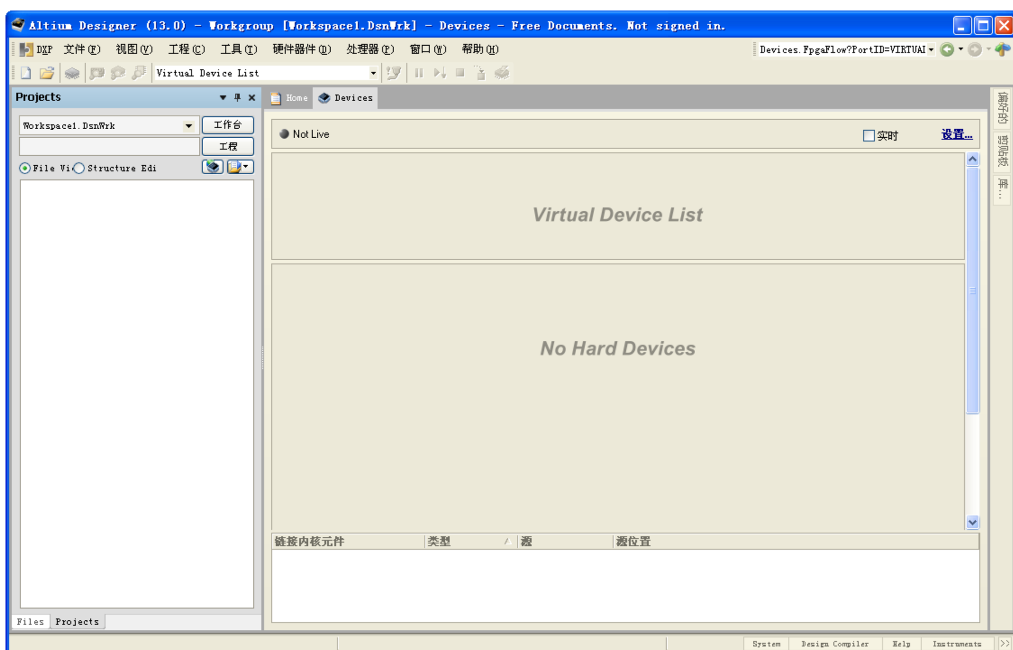



图 1-13　器件视图窗口

（6）“PCB 发布视图”命令：用于打开 PCB 发行窗口，如图 1-14 所示。

（7）“Home（首页）”命令：用于打开主页窗口，一般与默认的窗口布局相同。

（8）“状态栏”命令：用于控制工作窗口下方状态栏上标签的显示与隐藏。

（9）“命令状态”命令：用于控制命令行的显示与隐藏。

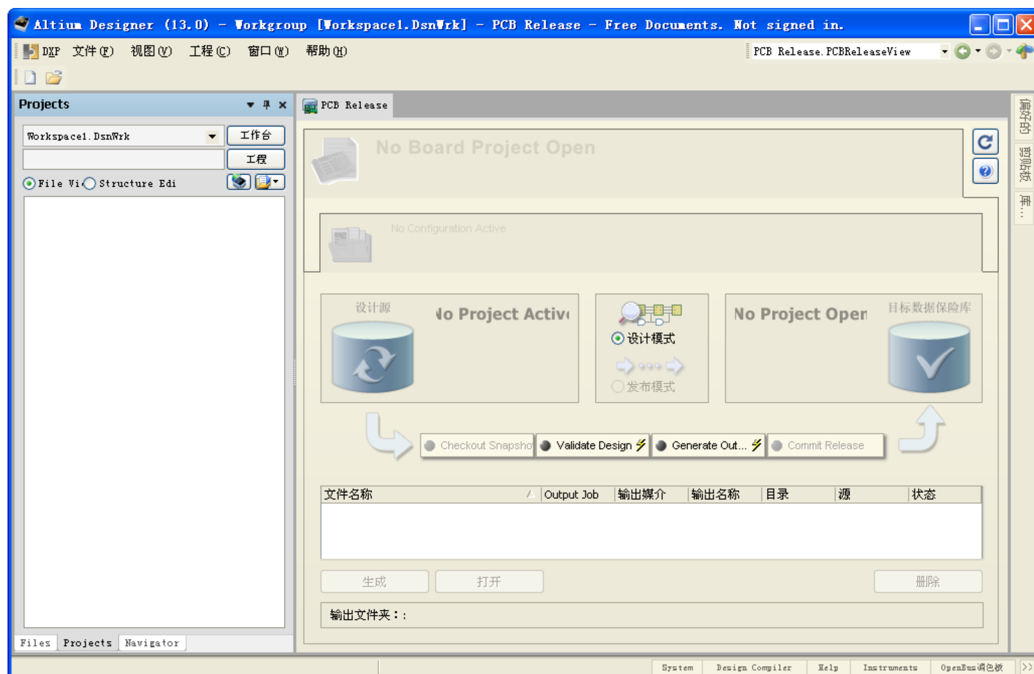



图 1-14　PCB 发行窗口

4．“工程”菜单

主要用于项目文件的管理，包括项目文件的编译、添加、删除、显示项目文件的差异和版本控制等命令，如图 1-15 所示。这里主要介绍“显示项目文件的差异”和“版本控制”两个命令。

- “显示差异”命令：单击该命令将弹出如图 1-16 所示的“选择文档比较”对话框。勾选“高级模式”复选框，可以进行文件之间、文件与项目之间、项目之间的比较。




图 1-15　“工程”菜单




图 1-16　“选择文档比较”对话框

- “版本控制”命令：单击该命令可以查看版本信息，可以将文件添加到“Version Control（版本控制）”数据库中，并对数据库中的各种文件进行管理。

5.“窗口”菜单

用于对窗口进行纵向排列、横向排列、打开、隐藏及关闭等操作。

6.“帮助”菜单

用于打开各种帮助信息。

### 1.1.2 工具栏

工具栏中只有5个按钮，分别用于新建文件、打开已存在的文件、打开设备视图和打开PCB发行视图页面。

### 1.1.3 工作窗口

打开 Altium Designer 13，工作窗口显示的是 Home（首页）页面，完全打开的页面如图 1-17 所示。

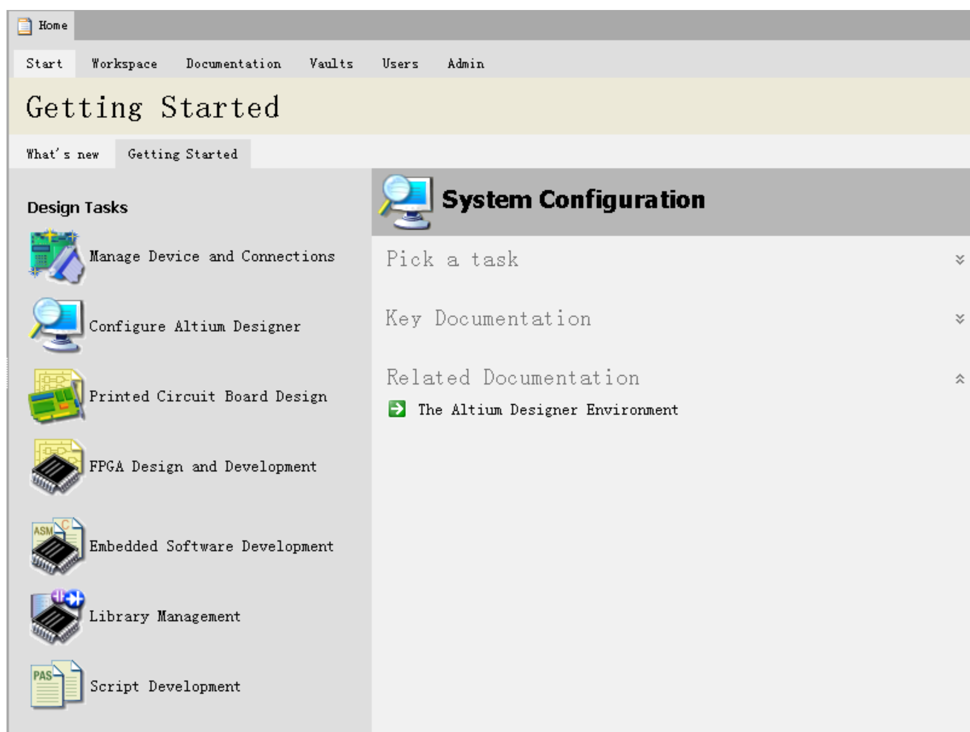



图 1-17 工作窗口的主页页面

Home（首页）页面中包含一系列快速启动图标。

- （Management Device and Connections，设备管理和连接）：用于对设备进行管理和连接。
- （Configure Altium Designer，配置）：用于 DXP 配置。
- （Printed Circuit Board Design，印制电路板设计）：用于设计印制电路板。
- （FPGA Design and Development，FPAG 设计和开发）：用于 FPGA 设计与开发。
- （Embedded Software Development，嵌入式软件开发）：用于开发嵌入式软件。
- （Library Management，库管理）：用于 DXP 库的管理。
- （Script Development，脚本开发）：用于开发脚本程序。

### 1.1.4 工作面板

在 Altium Designer 13 中，可以使用系统型面板和编辑器面板两种类型的面板。系统型面板在任何时候都可以使用，而编辑器面板只有在相应的文件被打开时才可以使用。使用工作面板是为了便于设计过程中的快捷操作。Altium Designer 13 被启动后，系统将自动激活“Files（文件）”面板、“Projects（工程）”面板和“Navigator（导航）”面板，可以单击面板底部的标签在不同的面板之间切换。下面简单介绍“Files（文件）”面板，其余的面板将在随后的原理图设计和 PCB 设计中详细讲解。展开的“Files（文件）”面板如图 1-18 所示。

“Files（文件）”面板主要用于打开、新建各种文件和项目，分为“打开文档”“打开工程”“新的”“从已有文件新建文件”和“从模板新建文件”5 个选项栏。单击每一部分右上角的双箭头按钮即可打开或隐藏里面的各项命令。

工作面板有自动隐藏显示、浮动显示和锁定显示 3 种显示方式。在每个面板的右上角都有 3 个按钮，按钮用于在各种面板之间进行切换操作，按钮用于改变面板的显示方式，按钮用于关闭当前面板。




图 1-18 展开的“Files”面板

## 1.2 Altium Designer 13 的文件管理系统

对于一个成功的企业，技术是核心，健全的管理体制是关键。同样，评价一个软件的好坏，文件的管理系统也是很重要的一个方面。Altium Designer 13 的“Projects（工程）”面板提供了两种文件——项目文件和设计时生成的自由文件。设计时生成的自由文件可以放在项目文件中，也可以放在自由文件中。自由文件在存盘时，是以单个文件的形式存入，而不是以项目文件的形式整体存盘，所以也被称为存盘文件。下面简单介绍这 3 种文件类型。

### 1.2.1 项目文件

Altium Designer 13 支持项目级别的文件管理，在一个项目文件里包括设计中生成的一切文件。例如，要设计一个收音机电路板，可以将收音机的电路图文件、PCB 图文件、设计中生成的各种报表文件及元件的集成库文件等放在一个项目文件中，这样非常便于文件管理。一个项目文件类似于 Windows 系统中的“文件夹”，在项目文件中可以执行对文件的各种操作，如新建、打开、关闭、复制与删除等。但需要注意的是，项目文件只负责管理，在保存文件时，项目中各个文件是以单个文件的形式保存的。

如图 1-19 所示为任意打开的一个“.PRJPCB”项目文件。从该图可以看出，该项目文件包含了与整个设计相关的所有文件。

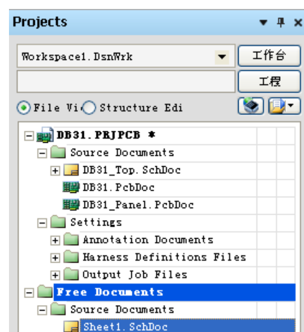


图 1-19 项目文件

### 1.2.2 自由文件

自由文件是指独立于项目文件之外的文件，Altium Designer 13 通常将这些文件存放在唯一的“Free Document（空白文件）”文件夹中。自由文件有以下两个来源：

（1）当将某文件从项目文件夹中删除时，该文件并没有从“Project（工程）”面板中消失，而是出现在“Free Document（空白文件）”中，成为自由文件。

（2）打开 Altium Designer 13 的存盘文件（非项目文件）时，该文件将出现在“Free Document（空白文件）”中而成为自由文件。

自由文件的存在方便了设计的进行，将文件从自由文档文件夹中删除时，文件将会彻底被删除。

### 1.2.3 存盘文件

存盘文件是在项目文件存盘时生成的文件。Altium Designer 13 保存文件时并不是将整个项目文件保存，而是单个保存，项目文件只起到管理的作用。这样的保存方法有利于实施大规模电路的设计。

# 第 2 章

# 原理图设计基础

在整个电子电路设计过程中，电路原理图的设计是最重要的基础性工作。同样，在 Altium Designer 13 中，只有先设计出符合需要和规则的电路原理图，然后才能顺利地对其进行仿真分析，最终变为可以用于生产的 PCB 印制电路板设计文件。

本章将详细介绍原理图设计的一些基础知识，具体包括原理图的组成、原理图编辑器的界面、新建与保存原理图文件、原理图环境设置等。

知识点

- 原理图编辑器的界面
- 放置元件

## 2.1　原理图的组成

原理图，即电路板工作原理的逻辑表示，它主要由一系列具有电气特性的符号构成。如图 2-1 所示是一张用 Altium Designer 13 绘制的原理图，在原理图上用符号表示了 PCB 的所有组成部分。PCB 各个组成部分与原理图上电气符号的对应关系如下：

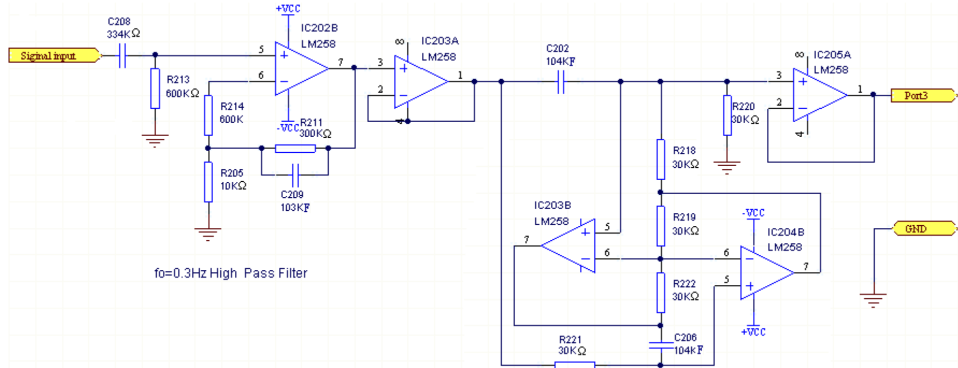



图 2-1　用 Altium Designer 13 绘制的原理图

（1）元件：在原理图设计中元件以元件符号的形式出现。元件符号主要由元件引脚和边框组成，其中元件引脚需要和实际元件一一对应。

如图 2-2 所示为图 2-1 采用的一个元件符号，该符号在 PCB 板上对应的是一个运算放大器。

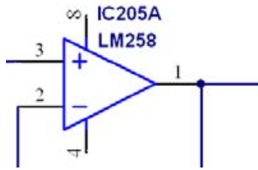



图 2-2　元件符号

（2）铜箔：在原理图设计中，铜箔有几种表示：

- 导线：原理图设计中的导线也有自己的符号，它以线段的形式出现。在 Altium Designer 13 中还提供了总线，用于表示一组信号，它在 PCB 上对应的是一组由铜箔组成的有时序关系的导线。
- 焊盘：元件的引脚对应 PCB 上的焊盘。
- 过孔：原理图上不涉及 PCB 的布线，因此没有过孔。
- 覆铜：原理图上不涉及 PCB 的覆铜，因此没有覆铜的对应符号。

（3）丝印层：丝印层是 PCB 上元件的说明文字，对应于原理图上元件的说明文字。

（4）端口：在原理图编辑器中引入的端口不是指硬件端口，而是为了建立跨原理图电气连接而引入的具有电气特性的符号。原理图中采用了一个端口，该端口就可以和其他原理图中同名的端口建立一个跨原理图的电气连接。

（5）网络标号：网络标号和端口类似，通过网络标号也可以建立电气连接。原理图中网络标号必须附加在导线、总线或元件引脚上。

（6）电源符号：这里的电源符号只是用于标注原理图上的电源网络，并非实际的供电器件。

总之，绘制的原理图由各种元件组成，它们通过导线建立电气连接。在原理图上除了元件之外，还有一系列其他组成部分辅助建立正确的电气连接，使整个原理图能够和实际的 PCB 对应起来。

# 2.2 原理图编辑器界面简介

在打开一个原理图设计文件或创建一个新原理图文件时，Altium Designer 13 的原理图编辑器将被启动，即打开了原理图的编辑环境，如图 2-3 所示。

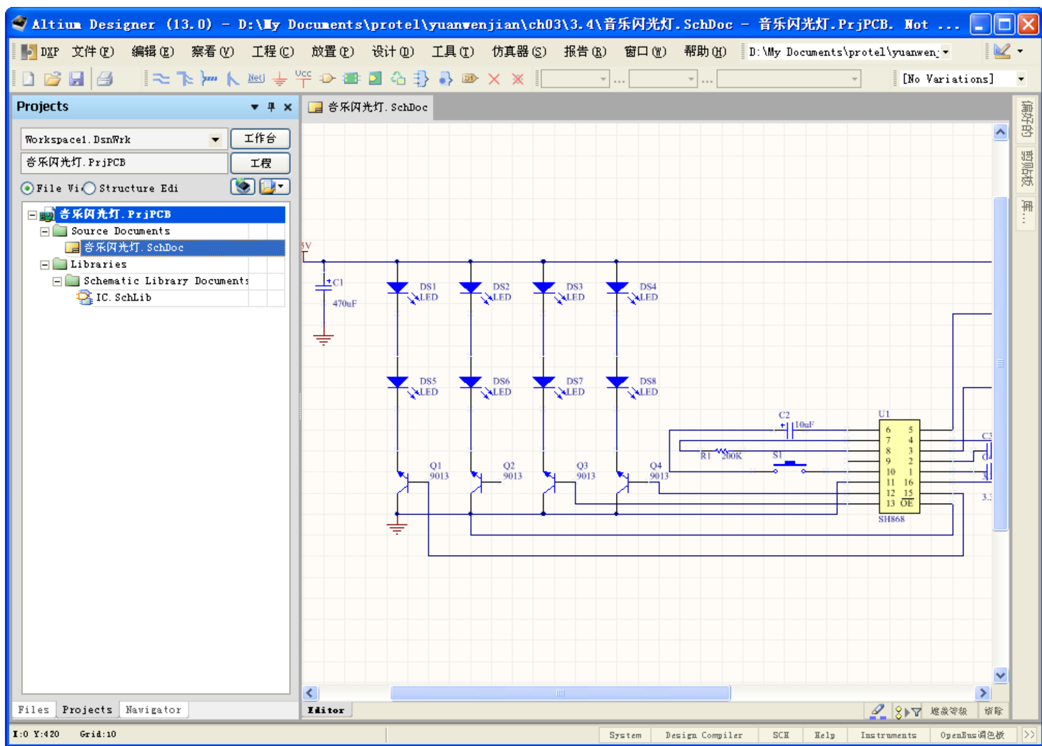



图 2-3 原理图的编辑环境

## 2.2.1 菜单栏

在 Altium Designer 13 设计系统中对不同类型的文件进行操作时，菜单栏的内容会发生相应的改变。在原理图的编辑环境中，菜单栏如图 2-4 所示。在设计过程中，对原理图的各种编辑操作都可以通过菜单栏中的相应命令来完成。




图 2-4 原理图编辑环境中的菜单栏

- “文件”菜单：用于执行文件的新建、打开、关闭、保存和打印等操作。

- “编辑”菜单：用于执行对象的选取、复制、粘贴、删除和查找等操作。
- “查看”菜单：用于执行视图的管理操作，如工作窗口的放大与缩小，各种工具、面板、状态栏及节点的显示与隐藏等。
- “工程”菜单：用于执行与项目有关的各种操作，如项目文件的建立、打开、保存与关闭、工程项目的编译及比较等。
- “放置”菜单：用于放置原理图的各种组成部分。
- “设计”菜单：用于对元件库进行操作、生成网络报表等操作。
- “工具”菜单：用于为原理图设计提供各种操作工具，如元件快速定位等操作。
- “仿真器”菜单：用于创建各种测试平台。
- “报告”菜单：用于执行生成原理图各种报表的操作。
- “窗口”菜单：用于对窗口进行各种操作。
- “帮助”菜单：用于打开帮助菜单。

### 2.2.2 工具栏

单击菜单栏中的“察看”→“工具栏”→“自定制”命令，系统将弹出如图 2-5 所示的“Customizing Sch Editor（定制原理图编辑器）”对话框。在该对话框中可以对工具栏中的功能按钮进行设置，以便用户创建自己的个性工具栏。

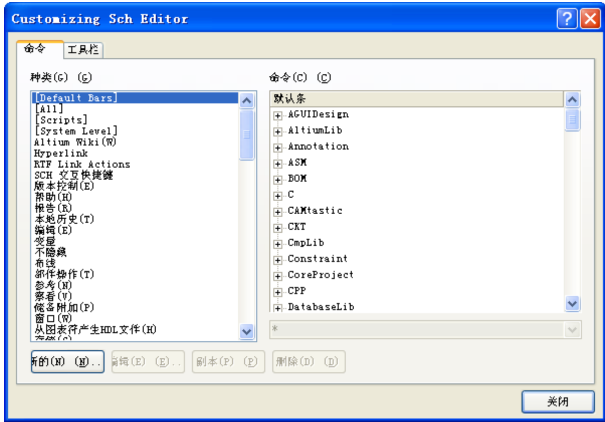



图 2-5 “Customizing Sch Editor”对话框

在原理图的设计界面中，Altium Designer 13 提供了丰富的工具栏，其中绘制原理图常用的工具栏介绍如下：

（1）标准工具栏：为用户提供了一些常用的文件操作快捷方式，如打印、缩放、复制、粘贴等，以按钮图标的形式表示出来，如图 2-6 所示。如果将光标悬停在某个按钮图标上，则该图标按钮所要完成的功能就会在图标下方显示出来，便于用户操作。



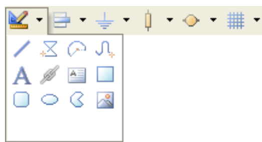
图 2-6 原理图编辑环境中的标准工具栏

（2）连线工具栏：用于放置原理图中的元件、电源、接地、端口、图纸符号、未用引脚标志等，同时完成连线操作，如图 2-7 所示。



图 2-7　原理图编辑环境中的连线工具栏

（3）绘图工具栏：用于在原理图中绘制所需要的标注信息，不代表电气连接，如图 2-8 所示。可以尝试操作其他的工具栏。总之，在“察看”菜单下“工具栏”命令的子菜单中列出了所有原理图设计中的工具栏，在工具栏名称左侧有“√”标记则表示该工具栏已经被打开了，否则该工具栏是被关闭的，如图 2-9 所示。



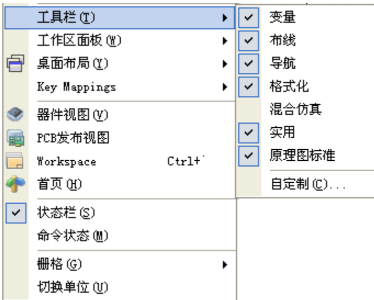



图 2-8　原理图编辑环境中的绘图工具栏　　　图 2-9　“工具栏”命令子菜单

## 2.2.3　工作窗口和工作面板

工作窗口是进行电路原理图设计的工作平台。在该窗口中，用户可以新绘制一个原理图，也可以对现有的原理图进行编辑和修改。在原理图设计中经常用到的工作面板有：

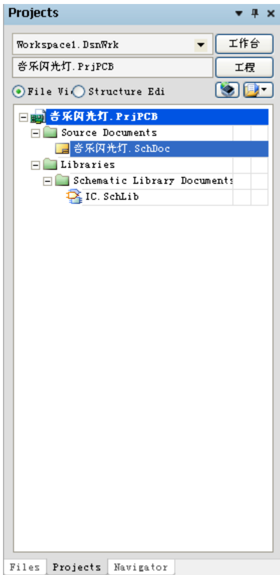



图 2-10　“Projects”面板

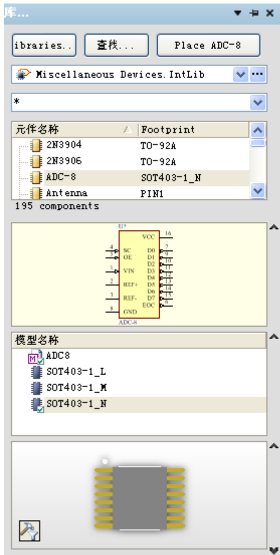



图 2-11　“库”面板

（1）“Projects（工程）”面板：如图 2-10 所示。在该面板中列出了当前打开项目的文件列表及所有的临时文件，提供了所有关于项目的操作功能，如打开、关闭和新建各种文件，以及在项目中导入文件、比较项目中的文件等。

（2）“库”面板：如图 2-11 所示。这是一个浮动面板，当光标移动到其标签上时，就会显示该面板，也可以通过单击标签在几个浮动面板间进行切换。在该面板中可以浏览当前加载的所有元件库，可以在原理图上放置元件，还可以对元件的封装、3D 模型、SPICE 模型和 SI 模型进行预览，同时还能够查看元件供应商、单价、生产厂商等信息。

（3）“Navigator（导航）”面板：在分析和编译原理图后提供关于原理图的所有信息，通常用于检查原理图。

## 2.3　原理图图样设置

原理图设计是电路设计的第一步，是制板、仿真等后续步骤的基础。因此，一幅原理图正确与否，直接关系到整个设计的成功与失败。

Altium Designer 13 的原理图设计大致可分为 9 个步骤，如图 2-12 所示。

在原理图的绘制过程中，可以根据所要设计的电路图的复杂程度，先对图纸进行设置。虽然在进入电路原理图的编辑环境时，Altium Designer 13 系统会自动给出相关的图纸默认参数，但是在大多数情况下，这些默认参数不一定适合用户的需求，尤其是图纸尺寸。可以根据设计对象的复杂程度来对图纸的尺寸及其他相关参数进行重新定义。单击菜单栏中的“设计”→“文档选项”命令，或在编辑窗口中右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“选项”→“文档选项”命令，或按快捷键 D+O，系统将弹出“文档选项”对话框，如图 2-13 所示。

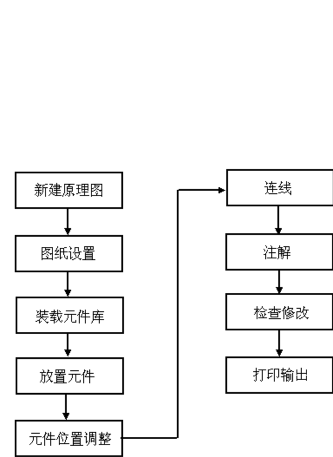



图 2-12　原理图设计的步骤

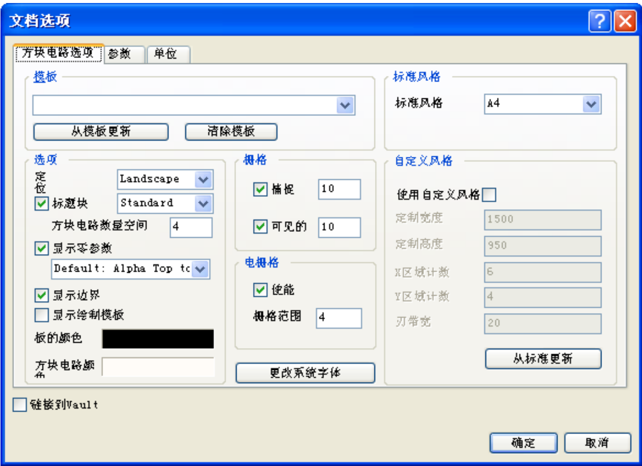



图 2-13　“文档选项”对话框

在该对话框中，有“方块电路选项”、“参数”和“单位”3 个选项卡。读者可以根据里面相关信息设置图纸有关参数。

# 2.4 设置原理图工作环境

在原理图的绘制过程中，其效率和正确性，往往与环境参数的设置有着密切的关系。在 Altium Designer 13 电路设计软件中，原理图编辑器工作环境的设置是通过原理图的“参数选择”对话框来完成的。单击菜单栏中的“工具”→“设置原理图参数”命令，或在编辑窗口中右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“选项”→“设置原理图参数”命令，或按快捷键 T+P，系统将弹出“参数选择”对话框。

在“参数选择”对话框中主要有 11 个标签页，即 General（常规设置）、Graphical Editing（图形编辑）、Mouse Wheel Configuration（鼠标滚轮设置）、Compiler（编译器）、AutoFocus（自动获得焦点）、Library AutoZoom（库扩充方式）、Break Wire（断开连线）、Default Units（默认单位）、Default Primitives（默认图元）、Orcad™（Orcad 端口操作）、Device Sheets（设备图纸）。

## 2.4.1 设置原理图的常规环境参数

原理图常规环境参数设置通过“General（常规设置）”标签页来实现，如图 2-14 所示。

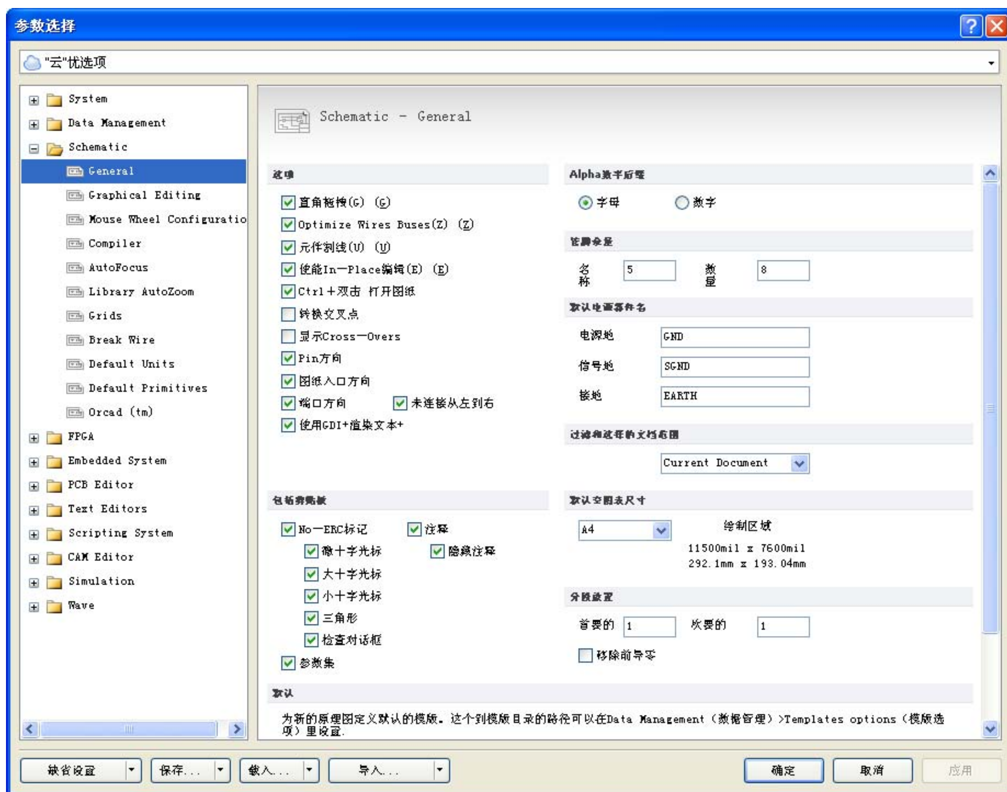



图 2-14 “General”标签页

### 2.4.2　设置图形编辑环境参数

“Graphical Editing”（图形编辑）标签页如图 2-15 所示。用来设置绘图相关参数。

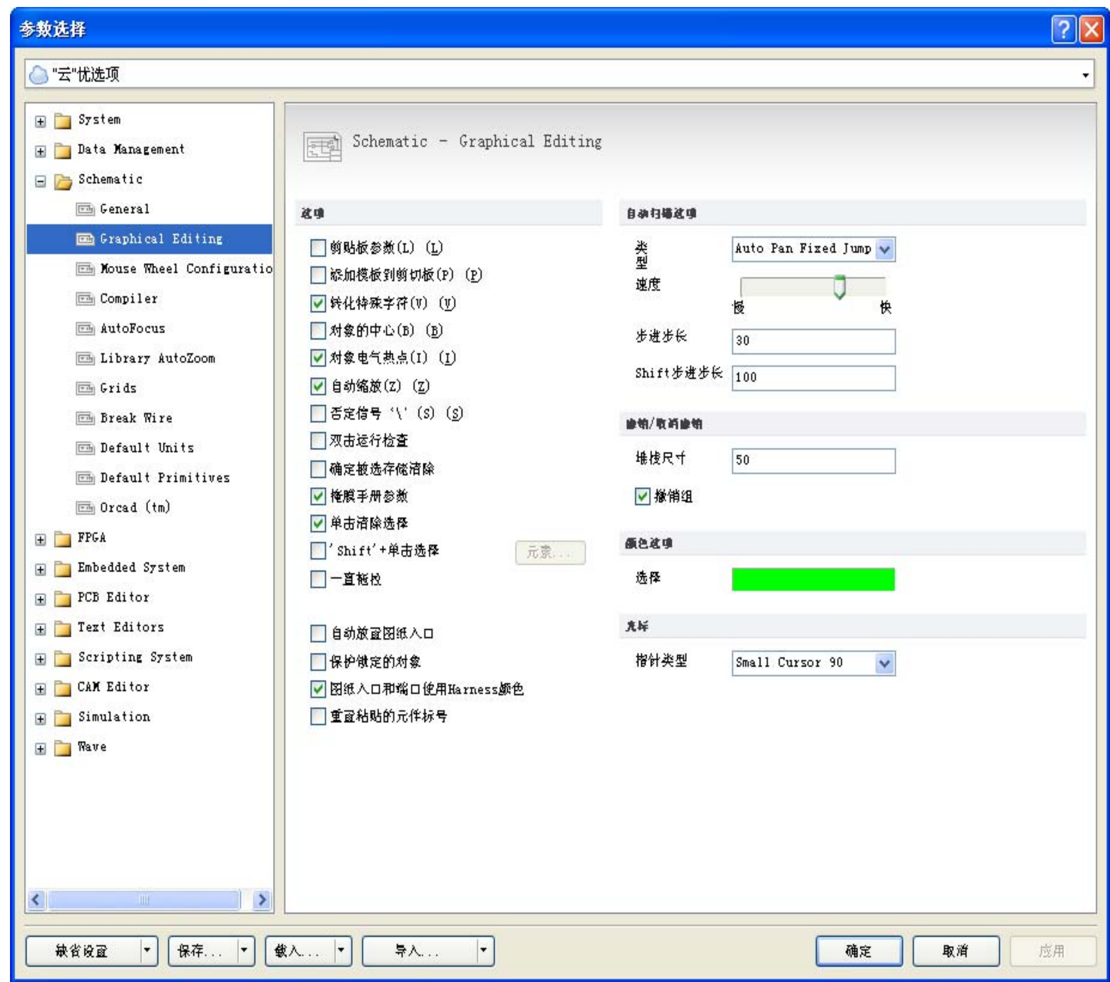



图 2-15　“Graphical Editing”标签页

## 2.5　加载元件库

在绘制电路原理图的过程中，首先要在图纸上放置需要的元件符号。Altium Designer 13 作为一个专业的电子电路计算机辅助设计软件，一般常用的电子元件符号都可以在它的元件库中找到，用户只需在 Altium Designer 13 元件库中查找所需的元件符号，并将其放置在图纸适当的位置即可。

## 2.5.1 打开“库”面板

打开“库”面板的方法如下：

- 将光标箭头放置在工作窗口右侧的“库”标签上，此时会自动弹出“库”面板，如图 2-16 所示。
- 如果在工作窗口右侧没有“库”标签，只要单击底部面板控制栏中的“System/Libraries（系统/元件库）”，在工作窗口右侧就会出现“库”标签，并自动弹出“库”面板。可以看到，在“库”面板中，Altium Designer 13 系统已经加载了两个默认的元件库，即通用元件库（Miscel laneous Devices. IntLib）和通用接插件库（Miscellaneous Connec tors. IntLib）。

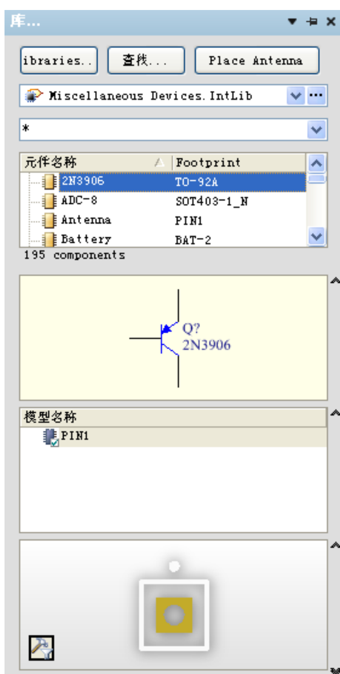



图 2-16 “库”面板

## 2.5.2 加载和卸载元件库

装入所需元件库的操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“设计”→“添加/移除库”命令，或者在如图 2-16 所示的“库”面板左上角中单击“Libraries（元件库）”按钮，系统将弹出如图 2-17 所示的“可用库”对话框。

可以看到此时系统已经装入的元件库，包括通用元件库（Miscellaneous Devices. IntLib）和通用接插件库（Miscellaneous Connectors. IntLib）。

在“可用库”对话框中，“上移”和“下移”按钮是用来改变元件库排列顺序的。

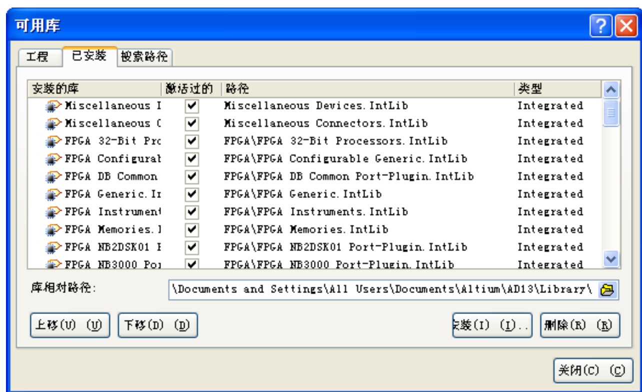



图 2-17 “可用库”对话框

Step2 加载绘图所需的元件库。在“可用库”对话框中有 3 个选项卡。“Project（工程）”选项卡列出的是用户为当前项目自行创建的库文件，“安装”选项卡列出的是系统中可

用的库文件。

在“已安装”选项卡中，单击右下角的“安装”按钮，系统将弹出如图 2-18 所示的“打开”对话框。在该对话框中选择特定的库文件夹，然后选择相应的库文件，单击“打开”按钮，所选中的库文件就会出现在“可用库”对话框中。

重复上述操作就可以把所需要的各种库文件添加到系统中，作为当前可用的库文件。加载完毕后，单击“关闭”按钮，关闭“可用库”对话框。这时所有加载的元件库都显示在“库”面板中，用户可以选择使用。

Step3 在“可用库”对话框中选中一个库文件，单击“删除”按钮，即可将该元件库卸载。

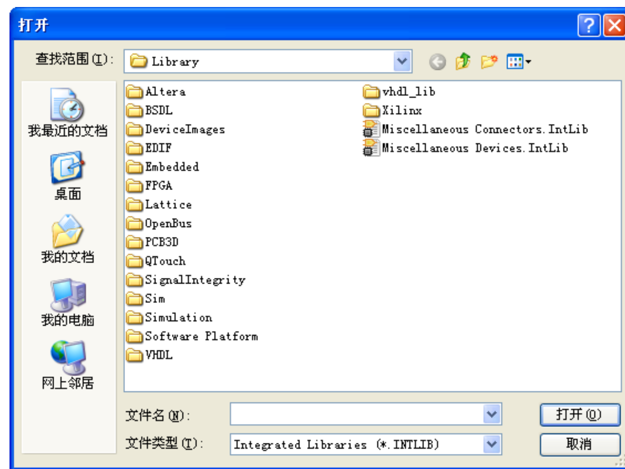



图 2-18 “打开”对话框

## 2.6 放置元件

原理图有两个基本要素，即元件符号和线路连接。绘制原理图的主要操作就是将元件符号放置在原理图图纸上，然后用线将元件符号中的引脚连接起来，建立正确的电气连接。在放置元件符号前，需要知道元件符号在哪一个元件库中，并载入该元件库。

### 2.6.1 搜索元件

Altium Designer 13 提供了强大的元件搜索能力，帮助用户轻松地在元件库中定位元件。

1. 查找元件

单击菜单栏中的“工具”→“发现器件”命令，或在“库”面板中单击“查找”按钮，或按快捷键 T+O，系统将弹出如图 2-19 所示的“搜索库”对话框。在该对话框中用户可以搜索需要的元件。搜索元件需要设置的参数如下：

（1）“范围”下拉列表框：用于选择查找类型。有 Components（元件）、Protel Footprints（PCB 封装）、3D Models（3D 模型）和 Database Components（数据库元件）4 种查找类型。

（2）若点选“可用库”单选钮，系统会在已经加载的元件库中查找；若点选“库文件路径”单选钮，系统会按照设置的路径进行查找；若点选“精确搜索”单选钮，系统会在上次查询结果中进行查找。

（3）“路径”选项组：用于设置查找元件的路径。只有在点选“库文件路径”单选钮时才有效。单击“路径”文本框右侧的按钮，系统将弹出“浏览文件夹”对话框，供用户设置搜索路径。若勾选“包含子目录”复选框，包含在指定目录中的子目录也会被搜索。“File Mask（文件屏蔽）”文本框用于设定查找元件的文件匹配符，“*”表示匹配任意字符串。

（4）“Advanced（高级）”选项：用于进行高级查询，如图 2-20 所示。在该选项文本框中，可以输入一些与查询内容有关的过滤语句表达式，有助于使系统进行更快捷、更准确的查找。在文本框中输入“(Name Like 2N3904*)”，单击“查找”按钮后，系统开始搜索。

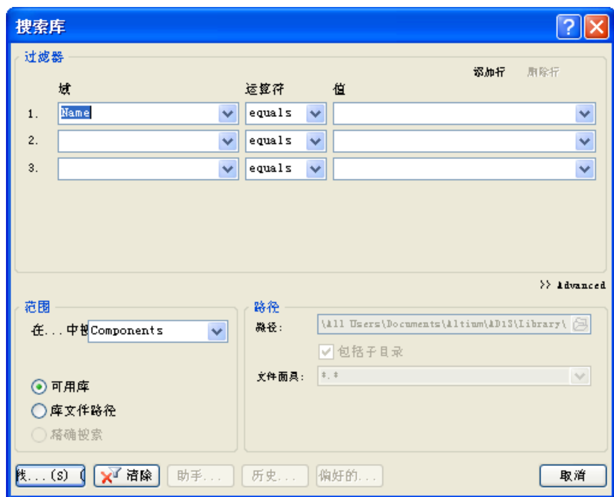



图 2-19　“搜索库”对话框

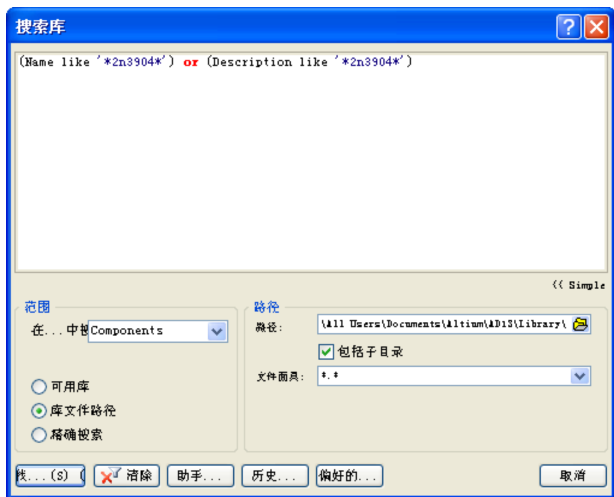



图 2-20　“Advanced”选项

2．显示找到的元件及其所属元件库

查找到“2N3904”后的“库”面板如图 2-21 所示。可以看到，符合搜索条件的元件名、描述、所属库文件及封装形式在该面板上被一一列出，供用户浏览参考。

3．加载找到元件的所属元件库

选中需要的元件（不在系统当前可用的库文件中），右击，在弹出的右键快捷菜单中单击放置元件命令，或者单击“库”面板右上方的按钮，系统会弹出如图 2-22 所示的是否加载库文件确认框。单击“Yes（是）”按钮，则元件所在的库文件被加载。单击“No（否）”按钮，则只使用该元件而不加载其元件库。

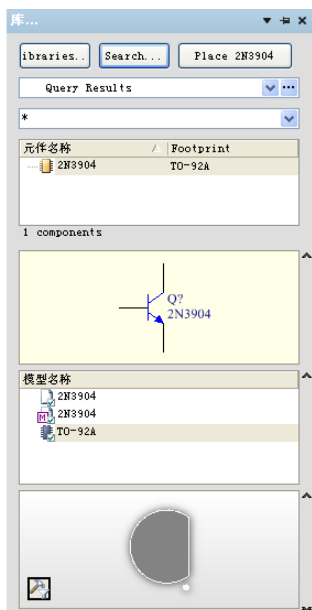



图 2-21　查找到元件后的“库”面板

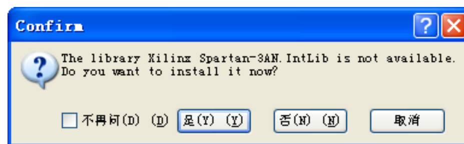



图 2-22　是否加载库文件确认框

## 2.6.2　放置元件

在元件库中找到元件后，加载该元件库，以后就可以在原理图上放置该元件了。在这里，原理图中共需要放置 4 个电阻、两个电容、两个晶体管和一个连接器。其中，电阻、电容和晶体管用于产生多谐振荡，在元件库“Miscellaneous Devices.IntLib”中可以找到。连接器用于给整个电路供电，在元件库“Miscellaneous Connectors.IntLib”中可以找到。

在 Altium Designer 13 中有两种元件放置方法，分别是通过“库”面板放置和菜单放置。下面以放置元件“2N3904”为例，对这两种放置过程进行详细说明。

在放置元件之前，应该首先选择所需元件，并且确认所需元件所在的库文件已经被装载。若没有装载库文件，请先按照前面介绍的方法进行装载，否则系统会提示所需要的元件不存在。

1．通过“库”面板放置元件

通过“库”面板放置元件的操作步骤如下：

Step1 打开“库”面板，载入所要放置元件所属的库文件。在这里，需要的元件全部在元件库“Miscellaneous Devices.IntLib”和“Miscellaneous Connectors.IntLib”中，加载这两个元件库。

Step2 选择想要放置元件所在的元件库。其实，所要放置的元件晶体管 2N3904 在元件库“Miscellaneous Devices.IntLib”中。在下拉列表框中选择该文件，该元件库出现在文本框中，这时可以放置其中含有的元件。在后面的浏览器中将显示库中所有的元件。

Step3 在浏览器中选中所要放置的元件，该元件将以高亮显示，此时可以放置该元件的符号。“Miscellaneous Devices.IntLib”元件库中的元件很多，为了快速定位元件，可以在上面的文本框中输入所要放置元件的名称或元件名称的一部分，包含输入内容的元件会以列表的形式出现在浏览器中。这里所要放置的元件为 2N3904，因此输入“*3904*”字样。在元件库“Miscellaneous Devices.IntLib”中只有元件 2N3904 包含输入字样，它将出现在浏览器中，单击选中该元件。

Step4 选中元件后，在“库”面板中将显示元件符号和元件模型的预览。确定该元件是所要放置的元件后，单击该面板上方的按钮，光标将变成十字形状并附带着元件 2N3904 的符号出现在工作窗口中，如图 2-23 所示。

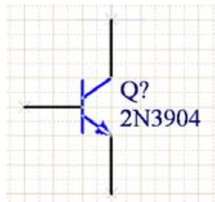


图 2-23 放置元件

Step5 移动光标到合适的位置，单击，元件将被放置在光标停留的位置。此时系统仍处于放置元件的状态，可以继续放置该元件。在完成选中元件的放置后，右击或者按 Esc 键退出元件放置的状态，结束元件的放置。

Step6 完成多个元件的放置后，可以对元件的位置进行调整，设置这些元件的属性。然后重复刚才的步骤，放置其他元件。

2．通过菜单命令放置元件

单击菜单栏中的“放置”→“器件”命令，系统将弹出如图 2-24 所示的“放置端口”对话框。在该对话框中，可以设置放置元件的有关属性。通过菜单命令放置元件的操作步骤如下：



图 2-24 “放置端口”对话框

Step1 在“放置端口”对话框中，单击“物理元件”下拉列表框右侧的按钮，系统将弹出如图 2-25 所示的“浏览库”对话框。在元件库“Miscellaneous Devices.IntLib”中选择元件 2N3904。

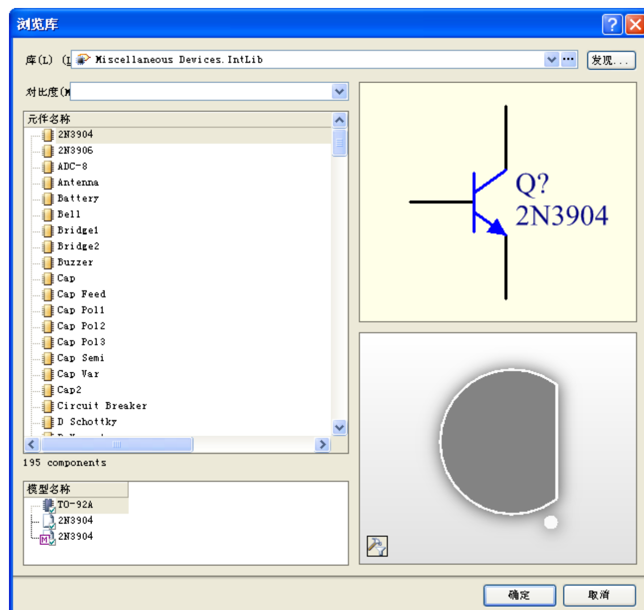



图 2-25 “浏览库”对话框

Step2 单击“确定”按钮，在“放置端口”对话框中将显示选中的内容，如图 2-24 所示。此时，在该对话框中还显示了被放置元件的部分属性。

- “逻辑符号”文本框：用于设置该元件在库中的名称。
- “标识”文本框：用于设置被放置元件在原理图中的标号。这里放置的元件为晶体管，因此采用“Q”作为元件标号。
- “注释”文本框：用于设置被放置元件的说明。
- “封装”下拉列表框：用于选择被放置元件的封装。如果元件所在的元件库为集成元件库，则显示集成元件库中该元件对应的封装，否则用户还需要另外给该元件设置封装信息。当前被放置元件不需设置封装。

Step3 完成设置后，单击“确定”按钮，后面的步骤和通过“库”面板放置元件的步骤完全相同，这里不再赘述。

### 2.6.3 调整元件位置

每个元件被放置时，其初始位置并不是很准确。在进行连线前，需要根据原理图的整体布局对元件的位置进行调整。这样不仅便于布线，也使所绘制的电路原理图清晰、美观。

元件位置的调整实际上就是利用各种命令将元件移动到图纸上指定的位置，并将元件旋转为指定的方向。

1．元件的移动

在 Altium Designer 13 中，元件的移动有两种情况，一种是在同一平面内移动，称为“平移”；另一种是，当一个元件把另一个元件遮住时，需要移动位置来调整它们之间的上下关系，这种元件间的上下移动称为“层移”。

对于元件的移动，系统提供了相应的菜单命令。可以单击菜单栏中的“编辑”→“移动”命令来完成。

除了使用菜单命令移动元件外，在实际原理图的绘制过程中，最常用的方法是直接使用鼠标来实现元件的移动。

（1）使用鼠标移动未选中的单个元件：将光标指向需要移动的元件（不需要选中），按住鼠标左键不放，此时光标会自动滑到元件的电气节点上。拖动鼠标，元件会随之一起移动。到达合适的位置后，释放鼠标左键，元件即被移动到当前光标的位置。

（2）使用鼠标移动已选中的单个元件：如果需要移动的元件已经处于选中状态，则将光标指向该元件，同时按住鼠标左键不放，拖动元件到指定位置后，释放鼠标左键，元件即被移动到当前光标的位置。

（3）使用鼠标移动多个元件：需要同时移动多个元件时，首先应将要移动的元件全部选中，然后在其中任意一个元件上按住鼠标左键并拖动，到达合适的位置后，释放鼠标左键，则所有选中的元件都移动到了当前光标所在的位置。

（4）使用（移动选择元件）按钮移动元件：对于单个或多个已经选中的元件，单击“原理图标准”工具栏中的（移动选择对象）按钮后，光标变成十字形，移动光标到已经选中的元件附近，单击，所有已经选中的元件将随光标一起移动，到达合适的位置后，再次单击，完成移动。

（5）使用键盘移动元件：元件在被选中的状态下，可以使用键盘来移动元件。

- Ctrl+Left 键：每按一次，元件左移 1 个网格单元。
- Ctrl+Right 键：每按一次，元件右移 1 个网格单元。
- Ctrl+Up 键：每按一次，元件上移 1 个网格单元。
- Ctrl+Down 键：每按一次，元件下移 1 个网格单元。
- Shift+Ctrl+Left 键：每按一次，元件左移 10 个网格单元。
- Shift+Ctrl+Right 键：每按一次，元件右移 10 个网格单元。
- Shift+Ctrl+Up 键：每按一次，元件上移 10 个网格单元。
- Shift+Ctrl+Down 键：每按一次，元件下移 10 个网格单元。

2．元件的旋转

（1）单个元件的旋转：单击要旋转的元件并按住鼠标左键不放，将出现十字光标，此时，按下面的功能键，即可实现旋转。旋转至合适的位置后放开鼠标左键，即可完成元件的旋转。

- Space 键：每按一次，被选中的元件逆时针旋转 90°。
- Shift+Space 键：每按一次，被选中的元件顺时针旋转 90°。
- X 键：被选中的元件左右对调。

- Y 键：被选中的元件上下对调。

（2）多个元件的旋转：在 Altium Designer 13 中，还可以将多个元件同时旋转。其方法是：先选定要旋转的元件，然后单击其中任何一个元件并按住鼠标左键不放，再按功能键，即可将选定的元件旋转，放开鼠标左键完成操作。

### 2.6.4 元件的排列与对齐

在布置元件时，为使电路图美观以及连线方便，应将元件摆放整齐、清晰，这就需要使用 Altium Designer 13 中的排列与对齐功能。

1．元件的排列

单击菜单栏中的“编辑”→“对齐”命令，其子菜单如图 2-36 所示。其中各命令说明如下：

- “左对齐”命令：将选定的元件向左边的元件对齐。
- “右对齐”命令：将选定的元件向右边的元件对齐。
- “水平中心对齐”命令：将选定的元件向最左边元件和最右边元件的中间位置对齐。
- “水平分布”命令：将选定的元件向最左边元件和最右边元件之间等间距对齐。
- “顶对齐”命令：将选定的元件向最上面的元件对齐。
- “底对齐”命令：将选定的元件向最下面的元件对齐。
- “垂直居中对齐”命令：将选定的元件向最上面元件和最下面元件的中间位置对齐。
- “垂直分布”命令：将选定的元件在最上面元件和最下面元件之间等间距对齐。
- “对齐到栅格上”命令：将选中元件对齐在网格点上，便于电路连接。

2．元件的对齐

单击如图 2-26 所示子菜单中的“对齐”命令，系统将弹出如图 2-27 所示的“排列对象”对话框。在该对话框中可以利用“水平排列”选项组、“垂直排列”选项组进行水平和垂直方向上的对齐操作。如果勾选“按栅格移动”复选框，对齐后，元件将被放到网格点上。

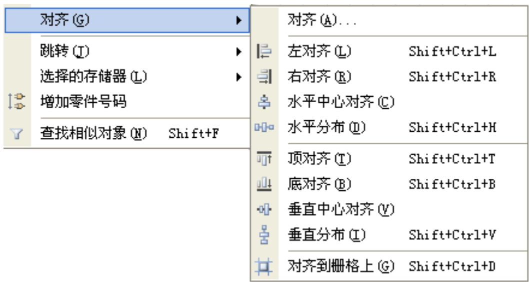



图 2-26 “对齐”命令子菜单

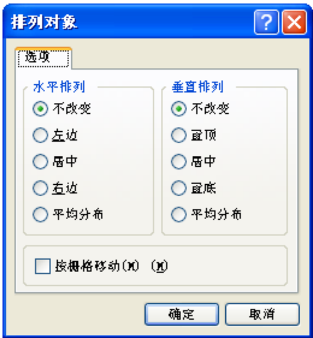



图 2-27 “排列对象”对话框

### 2.6.5 元件的属性设置

在原理图上放置的所有元件都具有自身的特定属性，在放置好每一个元件后，应该对其属性进行正确的编辑和设置，以免使后面的网络表生成及 PCB 的制作产生错误。

通过对元件的属性进行设置，一方面可以确定后面生成的网络报表的部分内容，另一方面也可以设置元件在图纸上的摆放效果。此外，在 Altium Designer 13 中还可以设置部分布线规则，编辑元件的所有引脚。元件属性设置具体包含元件的基本属性设置、元件的外观属性设置、元件的扩展属性设置、元件的模型设置、元件引脚的编辑 5 个方面的内容。

1．手动设置

双击原理图中的元件，或者单击菜单栏中的“编辑”→“改变”命令，在原理图的编辑窗口中，光标变成十字形，将光标移到需要设置属性的元件上单击，系统会弹出相应的属性设置对话框。如图 2-28 所示是晶体管 2N3904 的属性设置对话框。

用户可以根据自己的实际情况进行设置，完成后，单击“OK（确定）”按钮。

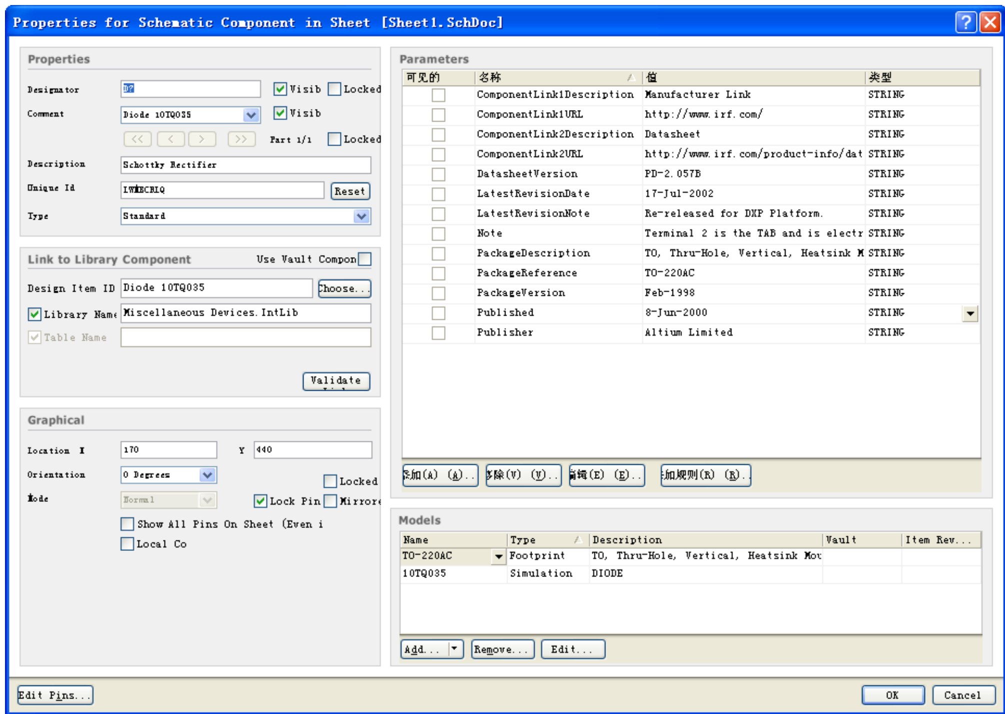



图 2-28 元件属性设置对话框

2．自动设置

在电路原理图比较复杂，存在很多元件的情况下，如果以手动方式逐个设置元件的标识，不仅效率低，而且容易出现标识遗漏、跳号等现象。此时，可以使用 Altium Designer 13 系统所提供的自动标识功能来轻松地完成对元件的设置。

（1）设置元件自动标号的方式：单击菜单栏中的“工具”→“注解”命令，系统将弹

出如图 2-29 所示的“注释”对话框。




图 2-29　“注释”对话框

“注释”对话框中各选项的含义如下：

1)“处理顺序”下拉列表框：用于设置元件标号的处理顺序。包含以下 4 个选项：Up Then Across（先向上后左右）、Down Then Across（先向下后左右）、Across Then Up（先左右后向上）、Across Then Down（先左右后向下）。

2)“匹配选项”选项组：从下拉列表框中选择元件的匹配参数，在对话框的右下方可以查看该项的概要解释。

3)“原理图页面注释”区域：该区域用于选择要标识的原理图，并确定注释范围、起始索引值及后缀字符等。

- “原理图页面”：用于选择要标识的原理图文件。可以直接单击“所有的打开”按钮选中所有文件，也可以单击“所有的关闭”按钮取消选择所有文件，然后勾选所需文件前面的复选框。
- “注释范围”：用于设置选中的原理图要标注的元件范围。有 All（全部元件）、Ignore Selected Parts（不标注选中的元件）、Only Selected Parts（只标注选中的元件）3 种选择。
- “顺序”：用于设置同类型元件标识序号的增量数。
- “启动索引”：用于设置起始索引值。
- “后缀”：用于设置标识的后缀。

4)“提议更改列表”列表框：用于显示元件的标号在改变前后的情况，并指明元件所在的原理图文件。

（2）执行元件自动标号操作

1）单击注释对话框中的“Reset All（复位所有）”按钮，在弹出的对话框中单击“OK（确定）”按钮确定复位，系统会使元件的标号复位，即变成标识符加问号的形式。

2）单击“更新更改列表”按钮，系统会根据配置的注释方式更新标号，并显示在“提议更改列表”列表框中。

3）单击“接受更改（创建 ECO)”按钮，系统将弹出“工程更改顺序”对话框，显示出标号的变化情况，如图 2-30 所示。在该对话框中，可以使标号的变化有效。

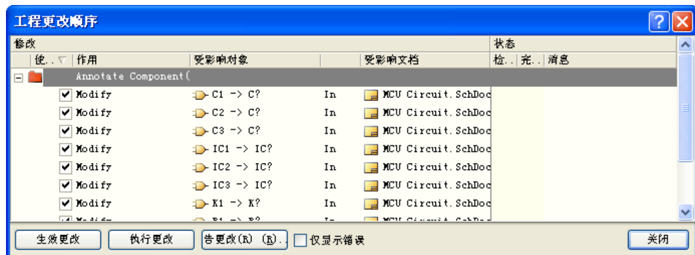



图 2-30　“工程更改顺序”对话框

4）在工程更改顺序对话框中，单击“生效更改”按钮，可以对标号变化进行有效性验证，但此时原理图中的元件标号并没有显示出变化。单击“执行更改”按钮，原理图中元件标号会显示出变化。

5）单击“报告更改”按钮，以预览表方式报告变化，如图 2-31 所示。

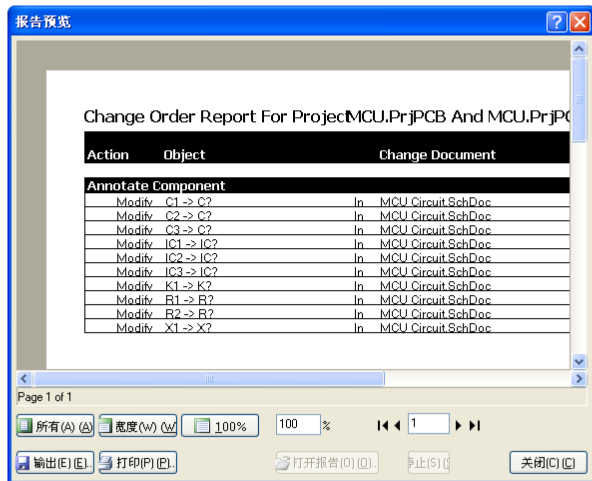



图 2-31　更新预览表

删除多余的元件有以下两种方法：

- 选中元件，按 Delete 键即可删除该元件。
- 单击菜单栏中的“编辑”→“删除”命令，或者按 E+D 键进入删除操作状态，光标箭头上会悬浮一个十字叉，将光标箭头移至要删除元件的中心，单击即可删除该元件。

# 第 3 章

# 原理图的绘制

在图样上放置好电路设计所需要的各种元件并对它们的属性进行相应的设置之后，根据电路设计的具体要求，就可以着手将各个元件连接起来，以建立并实现电路的实际连通性。这里所说的连接，指的是具有电气意义的连接，即电气连接。

电气连接有两种实现方式，一种是“物理连接”，即直接使用导线将各个元件连接起来；另一种是“逻辑连接”，即不需要实际的连线操作，而是通过设置网络标号使元件之间具有电气连接关系。

## 知识点

- 原理图连接工具
- 绘制图形工具

# 3.1 原理图连接工具

Altium Designer 13 提供了 3 种对原理图进行连接的操作方法。

1. 使用菜单命令

菜单栏中的“放置”菜单就是原理图连接工具菜单，如图 3-1 所示。在该菜单中，提供了放置各种元件的命令，也包括对总线（Bus）、总线通口（Bus Entry）、线（Wire）、网络标号（Net Label）等连接工具的放置命令。其中，“指示”子菜单如图 3-2 所示，经常使用的有“Generic No ERC（忽略 ERC 检查符号）命令、PCB Layout（PCB 布线指示符号）命令等。

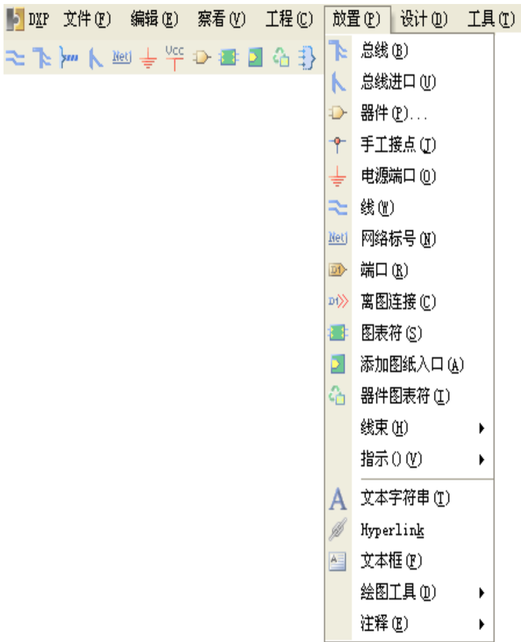



图 3-1 “放置”菜单




图 3-2 “指示”子菜单

2. 使用连线工具栏

在“放置”菜单中，各项命令分别与“连线”工具栏中的按钮一一对应，直接单击该工具栏中的相应按钮，即可完成相同的功能操作。

3. 使用快捷键

上述各项命令都有相应的快捷键。例如，设置网络标号的快捷键是 P+N，绘制总线入口的快捷键是 P+U 等。使用快捷键可以大大提高操作速度。

# 3.2 元件的电气连接

元件之间电气连接的主要方式是通过导线来连接。导线是电路原理图中最重要也是用得最多的图元，它具有电气连接的意义，不同于一般的绘图工具。绘图工具没有电气连接的意义。

## 3.2.1 放置导线

导线是电气连接中最基本的组成单位，放置导线的操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“放置”→“线”命令，或单击“连线”工具栏中的 （放置线）按钮，或按快捷键 P+W，此时光标变成十字形状并附加一个交叉符号。

Step2 将光标移动到想要完成电气连接的元件的引脚上，单击放置导线的起点。由于启用了自动捕捉电气节点（electrical snap）的功能，因此，电气连接很容易完成。出现红色的符号表示电气连接成功。移动光标，多次单击可以确定多个固定点，最后放置导线的终点，完成两个元件之间的电气连接。此时光标仍处于放置导线的状态，重复上述操作可以继续放置其他的导线。

Step3 导线的拐弯模式。如果要连接的两个引脚不在同一水平线或同一垂直线上，则在放置导线的过程中需要单击确定导线的拐弯位置，并且可以通过按 Shift+Space 键来切换导线的拐弯模式。有直角、45° 角和任意角度 3 种拐弯模式，如图 3-3 所示。导线放置完毕，右击或按 Esc 键即可退出该操作。

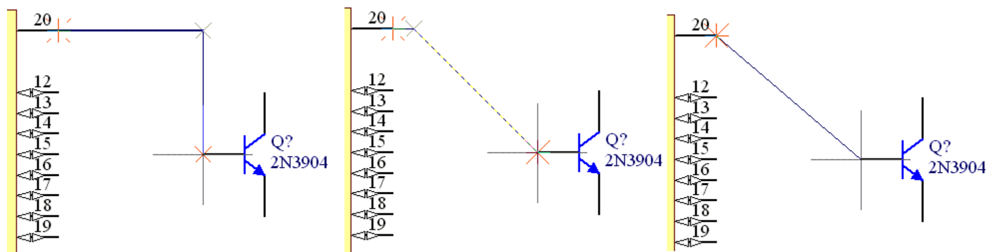



图 3-3 导线的拐弯模式

Step4 设置导线的属性。任何一个建立起来的电气连接都被称为一个网络（Net），每个网络都有自己唯一的名称。系统为每一个网络设置默认的名称，用户也可以自行设置。原理图完成并编译结束后，在导航栏中即可看到各种网络的名称。在放置导线的过程中，用户可以对导线的属性进行设置。双击导线或在光标处于放置导线的状态时按 Tab 键，弹出如图 3-4 所示的“线”对话框，在该对话框中可以对导线的颜色、线宽参数进行设置。

- “颜色”：单击该颜色显示框，系统将弹出如图 3-5 所示的“Choose Color（选择颜色）”对话框。在该对话框中可以选择并设置需要的导线颜色。系统默认为深蓝色。
- “线宽”：在该下拉列表框中有 Smallest（最小）、Small（小）、Medium（中等）和 Large（大）4 个选项可供用户选择。系统默认为 Small（小）。在实际中应该参照

与其相连的元件引脚线的宽度进行选择。

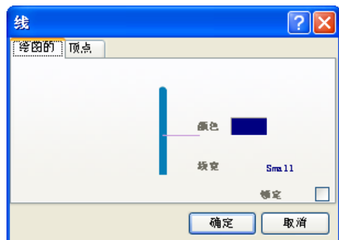


图 3-4 “线”对话框



图 3-5 “选择颜色”对话框

## 3.2.2 放置总线

总线是一组具有相同性质的并行信号线的组合，如数据总线、地址总线、控制总线等的组合。在大规模的原理图设计，尤其是数字电路的设计中，如果只用导线来完成各元件之间的电气连接，那么整个原理图的连线就会显得杂乱而繁琐。而总线的运用可以大大简化原理图的连线操作，使原理图更加整洁、美观。

原理图编辑环境下的总线没有任何实质的电气连接意义，仅仅是为了绘图和读图方便而采取的一种简化连线的表现形式。

总线的放置与导线的放置基本相同，其操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“放置”→“总线”命令，或单击“连线”工具栏中的 （放置总线）按钮，或按快捷键 P+B，此时光标变成十字形状。

Step2 将光标移动到想要放置总线的起点位置，单击确定总线的起点。然后拖动光标，单击确定多个固定点，最后确定终点，如图 3-6 所示。总线的放置不必与元件的引脚相连，它只是为了方便接下来对总线分支线的绘制而设定的。

Step3 设置总线的属性。在放置总线的过程中，用户可以对总线的属性进行设置。双击总线或在光标处于放置总线的状态时按 Tab 键，弹出如图 3-7 所示的“总线”对话框，在该对话框中可以对总线的属性进行设置。

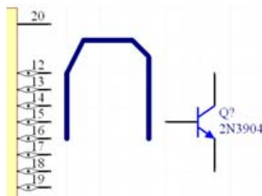


图 3-6 放置总线



图 3-7 “总线”对话框

### 3.2.3　放置总线入口

总线入口是单一导线与总线的连接线。使用总线入口把总线和具有电气特性的导线连接起来，可以使电路原理图更为美观、清晰，且具有专业水准。与总线一样，总线入口也不具有任何电气连接的意义，而且它的存在也不是必须的。即使不通过总线入口，直接把导线与总线连接也是正确的。

放置总线入口的操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“放置”→“总线入口”命令，或单击“连线”工具栏中的（放置总线入口）按钮，或按快捷键 P+U，此时光标变成十字形状。

Step2 在导线与总线之间单击，即可放置一段总线入口分支线。同时在该命令状态下，按 Space 键可以调整总线入口分支线的方向，如图 3-8 所示。

Step3 设置总线入口的属性。在放置总线入口分支线的过程中，用户可以对总线入口分支线的属性进行设置。双击总线入口或在光标处于放置总线入口的状态时按 Tab 键，弹出如图 3-9 所示的“总线入口”对话框，在该对话框中可以对总线分支线的属性进行设置。

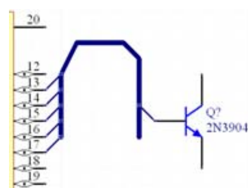



图 3-8　调整总线入口分支线的方向

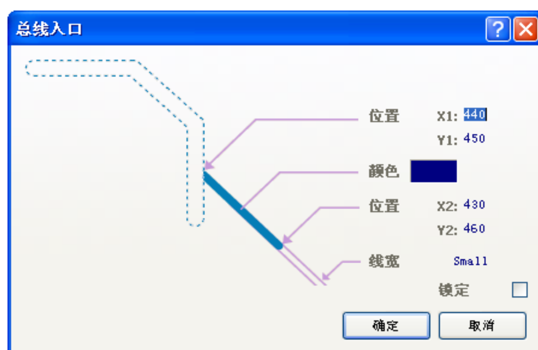



图 3-9　“总线入口”对话框

### 3.2.4　手动连接

在 Altium Designer 13 中，默认情况下，系统会在导线的 T 型交叉点处自动放置电气节点，表示所画线路在电气意义上是连接的。但在其他情况下，如十字交叉点处，由于系统无法判断导线是否连接，因此不会自动放置电气节点。如果导线确实是相互连接的，就需要用户自己手动放置电气节点。

手动放置电气节点的操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“放置”→“手动连接”命令，或用快捷键 P+J，此时光标变成十字形状，并带有一个电气节点符号。

Step2 移动光标到需要放置电气节点的地方，单击即可完成放置，如图 3-10 所示。此时光标仍处于放置电气节点的状态，重复操作即可放置其他节点。

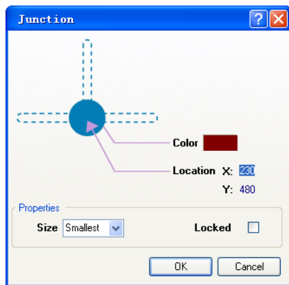



图 3-10 “手动连接”对话框

Step3 设置电气节点的属性。在放置电气节点的过程中，用户可以对电气节点的属性进行设置。双击电气节点或者在光标处于放置电气节点的状态时按 Tab 键，弹出如图 3-10 所示的“手动连接”对话框，在该对话框中可以对电气节点的属性进行设置。

系统存在着一个默认的自动放置节点的属性，用户也可以按照自己的习惯进行改变。单击菜单栏中的“工具”→“ 设置原理图参数”命令，弹出“参数选择”对话框，选择“Schematic（原理图）”→“Compiler（编译器）”标签页即可对各类节点进行设置，如图 3-11 所示。

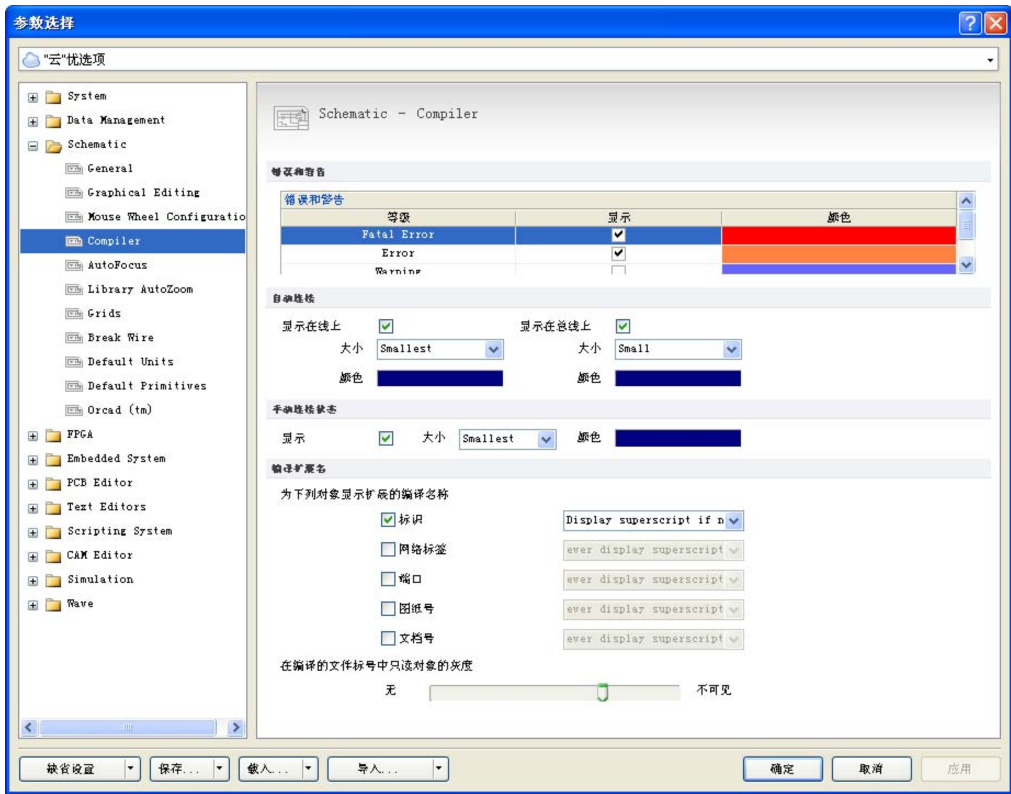



图 3-11 “Compiler”标签页

（1）“自动连接”选项组

- “显示在线上”复选框：勾选该复选框，则显示在导线上自动设置的节点，系统默认为勾选状态。在下面的“Size（大小）”下拉列表框和“Color（颜色）”颜色显示框中可以对节点的大小和颜色进行设置。
- “显示在总线上”复选框：勾选该复选框，则显示在总线上自动设置的节点，系统默认为勾选状态。在下面的“Size（大小）”下拉列表框和“Color（颜色）”颜色显

示框中可以对节点的大小和颜色进行设置。

（2）“手动连接状态”选项组：“显示”复选框、“大小”下拉列表框和“颜色”颜色显示框分别控制节点的显示、大小和颜色，用户可以自行设置。

（3）导线相交时的导线模式：选择“Schematic（原理图）”→“General（常规设置）”标签页，如图 3-12 所示。勾选“显示 Cross-Overs（显示交叉点）”复选框，可以改变原理图中的交叉导线显示。系统的默认设置为勾选该复选框。

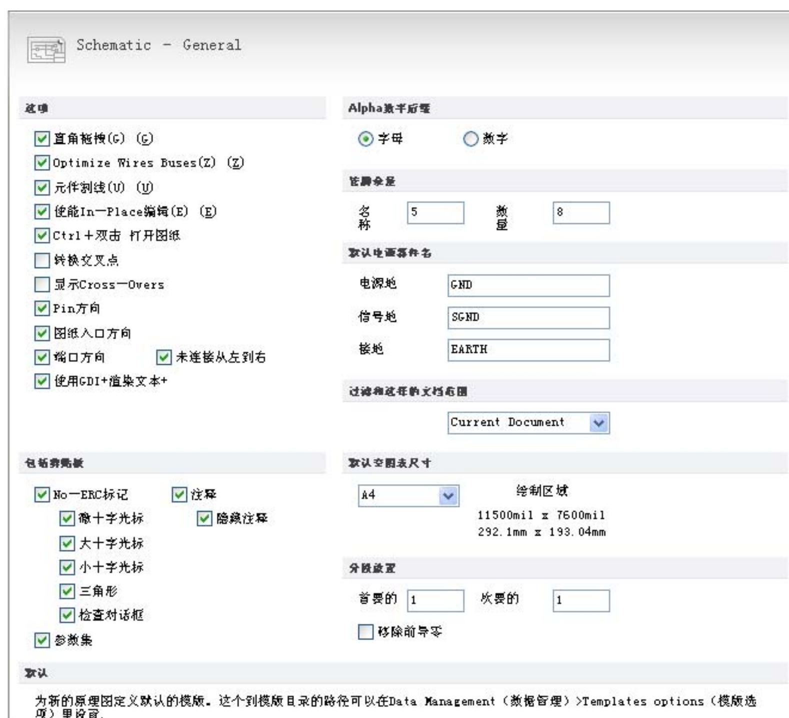



图 3-12 “General”标签页

## 3.2.5 放置电源和接地符号

电源和接地符号是电路原理图中必不可少的组成部分。放置电源和接地符号的操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“放置”→“电源符号”命令，或单击“连线”工具栏中的⏚（GND 端口）或 VCC（VCC 电源端口）按钮，或按快捷键 P+O，此时光标变成十字形状，并带有一个电源或接地符号。

Step2 移动光标到需要放置电源或接地符号的地方，单击即可完成放置。此时光标仍处于放置电源或接地的状态，重复操作即可放置其他的电源或接地符号。

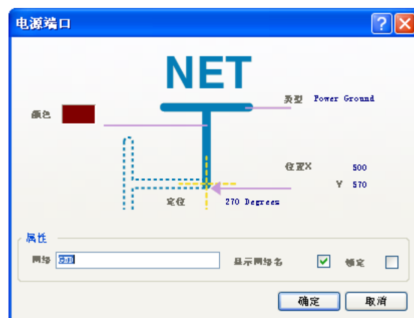



图 3-13 “电源端口”对话框

Step3 设置电源和接地符号的属性。在放置电

源和接地符号的过程中，用户可以对电源和接地符号的属性进行设置。双击电源和接地符号或在光标处于放置电源和接地符号的状态时按 Tab 键，弹出如图 3-13 所示的“电源端口”对话框，在该对话框中可以对电源或接地符号的颜色、风格、位置、旋转角度及所在网络等属性进行设置。

### 3.2.6　放置网络标号

在原理图的绘制过程中，元件之间的电气连接除了使用导线外，还可以通过设置网络标号的方法来实现。

下面以放置电源网络标号为例介绍网络标号放置的操作步骤：

Step1 单击菜单栏中的“放置”→“网络标号”命令，或单击“连线”工具栏中的 Net（放置网络标号）按钮，或按快捷键 P+N，此时光标变成十字形状，并带有一个初始标号“Net Label1”。

Step2 移动光标到需要放置网络标号的导线上，当出现红色交叉标志时，单击即可完成放置。此时光标仍处于放置网络标号的状态，重复操作即可放置其他的网络标号。右击或者按 Esc 键即可退出操作。

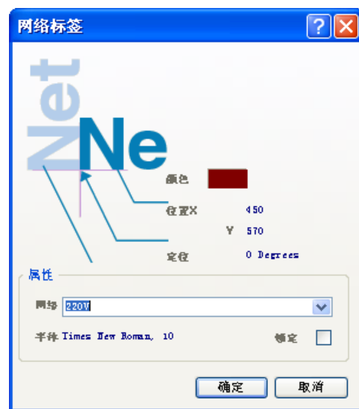



图 3-14　“网络标签”对话框

Step3 设置网络标号的属性。在放置网络标号的过程中，用户可以对其属性进行设置。双击网络标号或者在光标处于放置网络标号的状态时按 Tab 键，弹出如图 3-14 所示的“网络标号”对话框，在该对话框中可以对网络标号的颜色、位置、旋转角度、名称及字体等属性进行设置。

也可以在工作窗口中直接改变“Net（网络）”的名称，其操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“工具”→“设置原理图参数”命令，弹出“参数选择”对话框，选择“Schematic（原理图）”→“General（常规设置）”标签。勾选“使能 In-Place 编辑（能够在当前位置编辑）”复选框（系统默认即为勾选状态），如图 3-12 所示。

Step2 此时在工作窗口中单击网络标号的名称，过一段时间后再次单击网络标号的名称即可对该网络标号的名称进行编辑。

### 3.2.7　放置输入/输出端口

通过前面的学习我们知道，在设计原理图时，两点之间的电气连接，可以直接使用导线连接，也可以通过设置相同的网络标号来完成。还有一种方法，就是使用电路的输入/输出端口。相同名称的输入/输出端口在电气关系上是连接在一起的。一般情况下，在一张图样中是不使用端口连接的，但在层次电路原理图的绘制过程中经常用到这种电气连接方式。放置输入/输出端口的操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“放置”→“端口”命令，或单击“连线”工具栏中的 D1（放

置端口）按钮，或按快捷键 P+R，此时光标变成十字形状，并带有一个输入/输出端口符号。

Step2 移动光标到需要放置输入/输出端口的元件引脚末端或导线上，当出现红色交叉标志时，单击确定端口一端的位置。然后拖动光标使端口的大小合适，再次单击确定端口另一端的位置，即可完成输入/输出端口的一次放置。此时光标仍处于放置输入/输出端口的状态，重复操作即可放置其他的输入输出端口。

Step3 设置输入/输出端口的属性。在放置输入/输出端口的过程中，用户可以对输入/输出端口的属性进行设置。双击输入、输出端口或者在光标处于放置状态时按 Tab 键，弹出如图 3-15 所示的“端口属性”对话框，在该对话框中可以对输入/输出端口的属性进行设置。

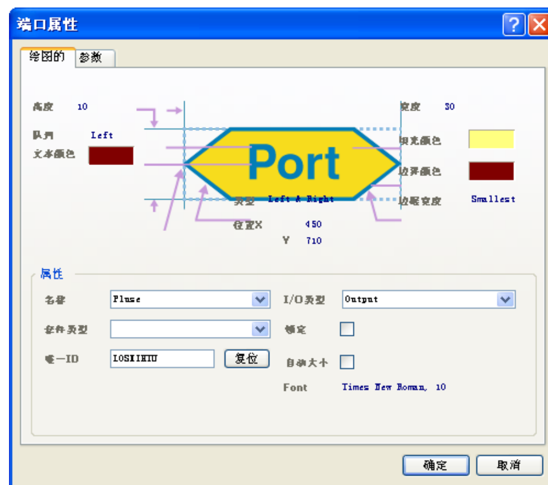


图 3-15 “端口属性”对话框

其中各选项的说明如下：

- “队列”：用于设置端口名称的位置，有 Center（居中）、Left（靠左）和 Right（靠右）3 种选择。
- “文本颜色”：用于设置文本颜色。
- “宽度”：用于设置端口宽度。
- “填充颜色”：用于设置端口内填充颜色。
- “边界颜色”：用于设置边框颜色。
- “类型”：用于设置端口外观风格，包括 None（Horizontal）（水平）、Left（左）、Right（右）、Left & Right（左和右）、None（Vertical）（垂直）、Top（顶）、Bottom（底）和 Top & Bottom（顶和底）8 种选择。
- “位置”：用于设置端口位置。可以设置 X、Y 坐标值。
- “名称”：用于设置端口名称。这是端口最重要的属性之一，具有相同名称的端口在电气上是连通的。
- “唯一的 ID”：唯一的识别符。用户一般不需要改动此项，保留默认设置。
- “I/O Type（输入/输出端口的类型）”：用于设置端口的电气特性，对后面的电气规则检查提供一定的依据。有 Unspecified（未指明或不确定）、Output（输出）、Input（输入）和 Bidirectional（双向型）4 种类型。

### 3.2.8 放置忽略 ERC 测试点

在电路设计过程中，系统进行电气规则检查（ERC）时，有时会产生一些不希望产生的错误报告。例如，由于电路设计的需要，一些元件的个别输入引脚有可能被悬空，但在系统默认情况下，所有的输入引脚都必须进行连接，这样在 ERC 检查时，系统会认为悬空的输入引脚使用错误，并在引脚处放置一个错误标记。

为了避免用户为检查这种“错误”而浪费时间，可以使用忽略 ERC 测试符号，让系统忽略对此处的 ERC 测试，不再产生错误报告。放置忽略 ERC 测试点的操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“放置”→“指示”→“Generic No ERC（忽略 ERC 测试点）”命令，或单击“连线”工具栏中的“Place ”（放置忽略 ERC 测试点）按钮，或按快捷键 P+V+N，此时光标变成十字形状，并带有一个红色的交叉符号。

Step2 移动光标到需要放置忽略 ERC 测试点的位置处，单击即可完成放置。此时光标仍处于放置忽略 ERC 测试点的状态，重复操作即可放置其他的忽略 ERC 测试点。右击或按 Esc 键即可退出操作。

Step3 设置忽略 ERC 测试点的属性。在放置忽略 ERC 测试点的过程中，用户可以对忽略 ERC 测试点的属性进行设置。双击忽略 ERC 测试点或在光标处于放置忽略 ERC 测试点的状态时按 Tab 键，弹出如图 3-16 所示的“不 ERC 检查（忽略 ERC 测试点）”对话框。在该对话框中可以对忽略 ERC 测试点的颜色及位置属性进行设置。

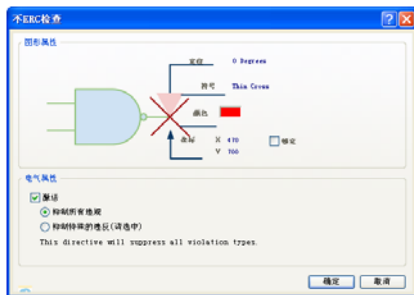



图 3-16 “不 ERC 检查”对话框

## 3.2.9 放置 PCB 布线指示

用户绘制原理图的时候，可以在电路的某些位置放置 PCB 布线指示，以便预先规划和指定该处的 PCB 布线规则，包括铜箔的宽度、布线的策略、布线优先级及布线板层等。这样，在由原理图创建 PCB 印制板的过程中，系统就会自动引入这些特殊的设计规则。放置 PCB 布线指示的步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“放置”→“指示”→“PCB 布局”命令，或按快捷键 P+V+P，此时光标变成十字形状，并带有一个 PCB 布线指示符号。

Step2 移动光标到需要放置 PCB 布线指示的位置处，单击即可完成放置，如图 3-17 所示。此时光标仍处于放置 PCB 布线指示的状态，重复操作即可放置其他的 PCB 布线指示符号。右击或者按 Esc 键即可退出操作。

Step3 设置 PCB 布线指示的属性。在放置 PCB 布线指示符号的过程中，用户可以对 PCB 布线指示符号的属性进行设置。双击 PCB 布线指示符号或在光标处于放置 PCB 布线指示符号的状态时按 Tab 键，弹出如图 3-18 所示的“参数”对话框。在该对话框中可以对 PCB 布线指示符号的名称、位置、旋转角度及布线规则等属性进行设置。




图 3-17 放置 PCB 布线指示

- “名称”文本框：用于输入 PCB 布线指示符号的名称。
- “定位”文本框：用于设定 PCB 布线指示符号在原理图上的放置方向。有“0 Degrees”（0°）、“90 Degrees”（90°）、“180 Degrees”（180°）和“270 Degrees”（270°）4 个选项。
- “位置 X 轴”、“位置 Y 轴”文本框：用于设定 PCB 布线指示符号在原理图上的 X 轴和 Y 轴坐标。
- 参数坐标窗口：该窗口中列出了该 PCB 布线指示的相关参数，包括名称、数值及类型。选中任一参数值，单击“编辑”按钮，系统弹出如图 3-19 所示的“参数属性”对话框。

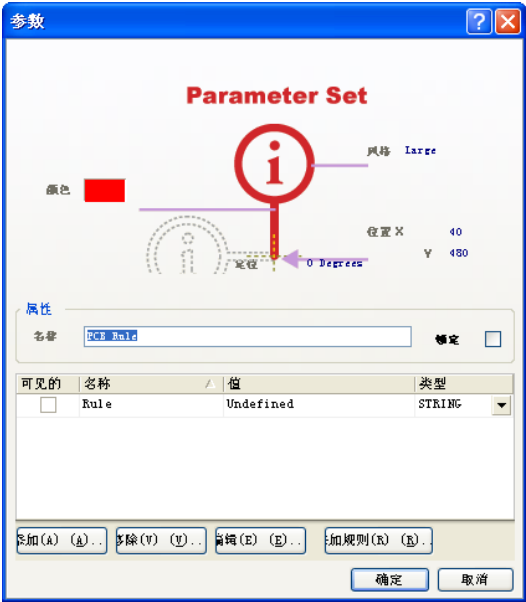



图 3-18　“参数”对话框

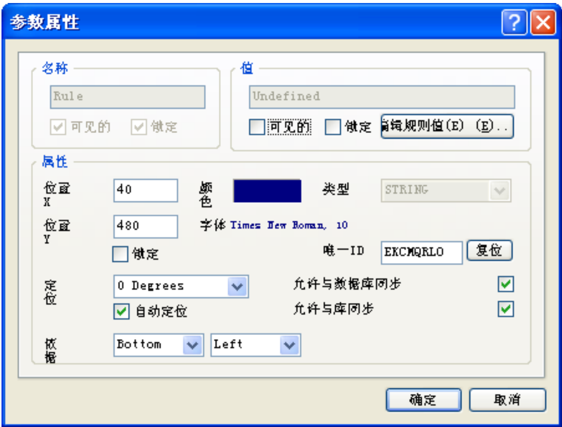
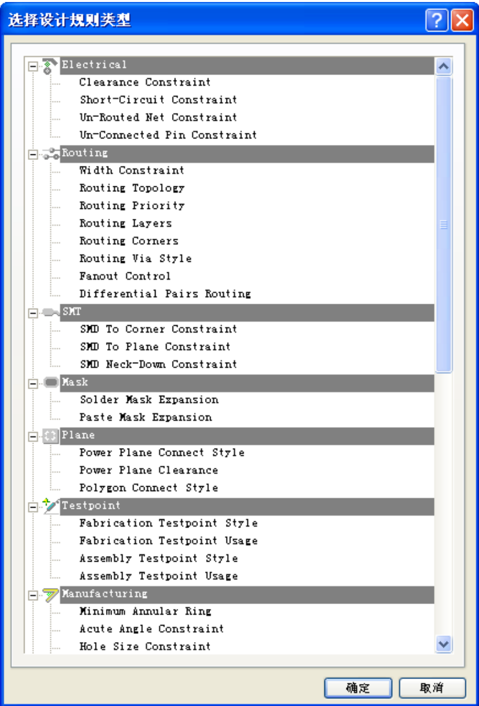



图 3-19　“参数属性”对话框

在该对话框中单击“编辑规则值”按钮，系统将弹出如图 3-20 所示的“选择设计规则类型”对话框，在该对话框中列出了 PCB 布线时用到的所有类型的规则供用户选择。



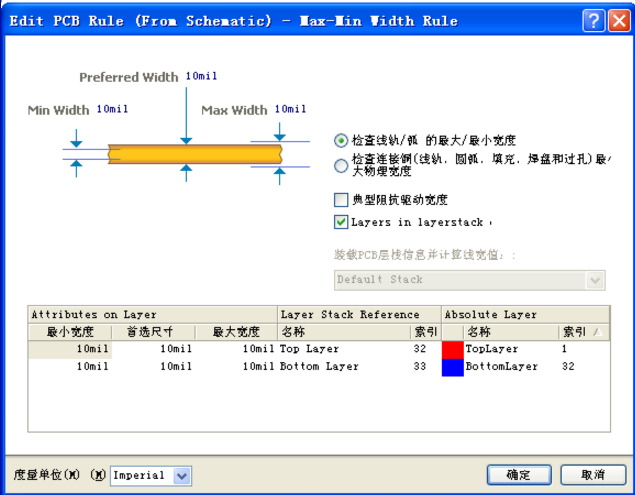




图 3-20　“选择设计规则类型”对话框　　　　图 3-21　设置导线宽度

例如，在这里选中了“Width Constraint（导线宽度约束规则）”选项，单击“OK（确

定）”按钮后，弹出相应的导线宽度设置对话框，如图 3-21 所示。该对话框分为两部分，上面是图形显示部分，下面是列表显示部分，均可用于设置导线的宽度。

属性设置完毕后，单击“确定”按钮即可关闭该对话框。

## 3.3 使用绘图工具绘图

在原理图编辑环境中，与“连线”工具栏相对应的，还有一个“实用”工具栏，用于在原理图中绘制各种标注信息，使电路原理图更清晰，数据更完整，可读性更强。该“实用”工具栏中的各种图元均不具有电气连接特性，所以系统在进行 ERC 检查及转换成网络表时，它们不会产生任何影响，也不会被添加到网络表数据中。

### 3.3.1 绘图工具

单击（实用工具）按钮，各种绘图工具如图 3-22 所示，与“放置”菜单下“绘图工具”命令子菜单中的各项命令具有对应关系。其中各按钮的功能如下：

- ：绘制直线。
- ：绘制多边形。
- ：绘制椭圆弧线。
- ：绘制贝塞尔曲线。
- ：添加说明文字。
- ：放置文本框。
- ：绘制矩形。
- ：绘制圆角矩形。
- ：绘制椭圆。
- ：绘制扇形。
- ：在原理图上粘贴图片。

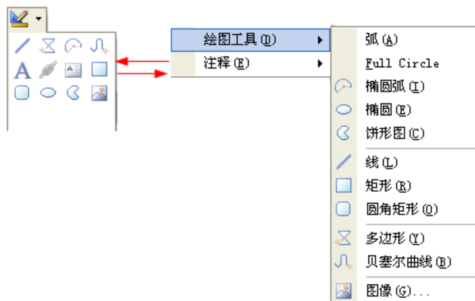



图 3-22 绘图工具

### 3.3.2 绘制直线

在原理图中，可以用直线来绘制一些注释性的图形，如表格、箭头、虚线等，或者在编辑元件时绘制元件的外形。直线在功能上完全不同于前面介绍的导线，它不具有电气连接特性，不会影响到电路的电气连接结构。

绘制直线的操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“放置”→“绘图工具”→“直线”命令，或单击“实用”工具栏中的（放置线）按钮，或按快捷键 P+D+L，此时光标变成十字形状。

Step2 移动光标到需要放置直线的位置处，单击确定直线的起点，多次单击确定多个固定点。一条直线绘制完毕后，右击即可退出该操作。

Step3 此时光标仍处于绘制直线的状态，重复步骤 2 的操作即可绘制其他的直线。

在直线绘制过程中，需要拐弯时，可以单击确定拐弯的位置，同时通过按 Shift+Space 键来切换拐弯的模式。在 T 型交叉点处，系统不会自动添加节点。右击或按 Esc 键即可退出操作。

Step4 设置直线属性。双击需要设置属性的直线或在绘制状态时按下 Tab 键，系统将弹出相应的直线属性设置对话框，如图 3-23 所示。

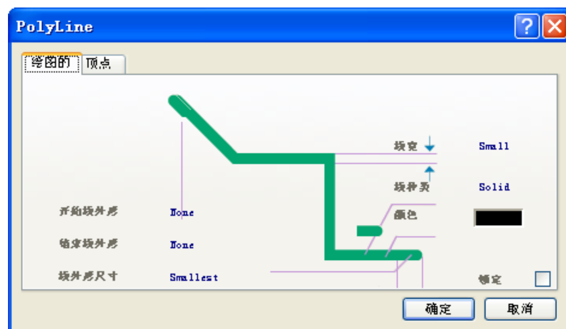



图 3-23　设置直线属性

在该对话框中可以对直线的属性进行设置，其中各属性的说明如下：

- “线宽”：用于设置直线的线宽。有 Smallest（最小）、Small（小）、Medium（中等）和 Large（大）4 种线宽供用户选择。
- “线种类”：用于设置直线的线型。有 Solid（实线）、Dashed（虚线）和 Dotted（点划线）3 种线型可供选择。
- “颜色”：用于设置直线的颜色。

其他图形工具的使用方法与“绘制直线”工具类似，这里不再赘述。

## 3.4　操作实例——音乐闪光灯电路设计

通过前面章节的学习，用户对 Altium Designer 13 原理图编辑环境、原理图编辑器的使用有了初步的了解，并且能够完成简单电路原理图的绘制。

本实例将设计一个音乐闪光灯，它采用干电池供电，可驱动发光管闪烁发光，同时扬声器还可以播放芯片中存储的电子音乐。本例中将介绍创建原理图、设置图样、放置元件、绘制原理图符号、元件布局布线和放置电源符号等操作：

1. 建立工作环境

在 Altium Designer 13 主界面中，选择“文件”→“新建”→“PCB 工程”（印制电路板工程）菜单命令，然后点击右键选择“保存工程为”菜单命令将新建的工程文件保存为“音乐闪光灯.PrjPCB”。

选择“文件”→“新建”→“Schematic”（原理图）菜单命令，然后选择“文件”→“保存为”菜单命令将新建的原理图文件保存为“音乐闪光灯.SchDoc”。

2. 原理图图样设置

选择“设计”→“文档选项”菜单命令，或者在编辑区内单击鼠标右键，并在弹出的快捷菜单中选择“选项”→“文档选项”菜单命令，弹出“文档选项”对话框，在该对话框中可以对图样进行设置，如图 3-24 所示。

**提示：在设置图样栅格尺寸的时候，一般来说，捕捉栅格尺寸和可视栅格尺寸一样大，也可以设置捕捉栅格的尺寸为可视栅格尺寸的整数倍。电气栅格的尺寸应该略小于捕捉栅格的尺寸，因为只有这样才能准确地捕捉电气节点。**

图 3-24 “文档选项”对话框

单击“文档选项”对话框中的“参数”标签切换到“参数”选项卡，在该选项卡可以设置当前时间、当前日期、设置时间、设计日期、文件名、修改日期、工程设计负责人、图样校对者、图样设计者、公司名称、图样绘制者、设计图样版本号和电路原理图编号等项，如图 3-25 所示。

图 3-25 “参数”选项卡

3. 添加元件

打开“库”面板，添加“Miscellaneous Devices.IntLib”元件库，接着在该库中找到

二极管、三极管、电阻、电容、麦克风等元件，将它们放置到原理图中，如图 3-26 所示。

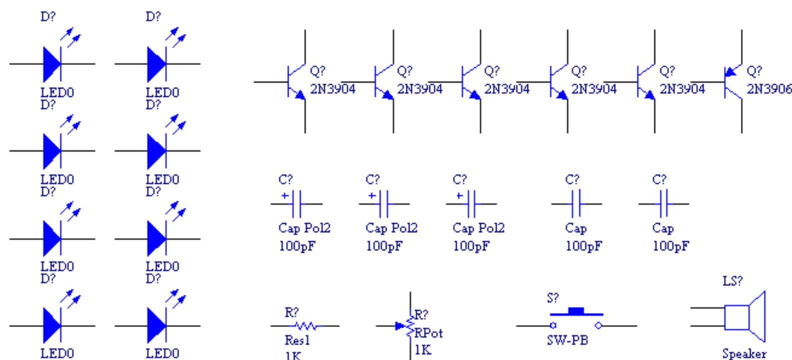



图 3-26　放置元件到原理图

4．绘制 SH868 的原理图符号

SH868 为 CMOS 元件，在 Altium Designer 13 所带的元件库中找不到它的原理图符号，所以需要自己绘制一个 SH868 的原理图符号。

Step1 新建一个原理图元件库。选择“文件”→“新建”→“库”→“原理图库”菜单命令，然后选择“文件”→“保存为”另存为菜单命令将新建的原理图符号文件保存为“IC.SchLib”。在新建的原理图元件库中包含一个名为 Component_1 的元件，选择“工具”→“重新命名器件”菜单命令打开“Rename Component”对话框，在该对话框中修改元件名为 SH868。

Step2 绘制元件外框。单击“放置”→“矩形”菜单命令，或者单击工具栏的按钮，这时鼠标变成十字形状，并带有一个矩形图形，移动鼠标光标到图样上，在图样参考点上单击鼠标左键确定矩形的左上角顶点，然后拖动光标画出一个矩形，再次单击确定矩形的右下角顶点，如图 3-27 所示。

双击绘制好的矩形，打开“长方形”对话框，将矩形的边框颜色设置为黑色，将边框的宽度设置为“Smallest”（最小），并通过设置右上角和左下角顶点的坐标来确定整个矩形的大小，如图 3-28 所示。

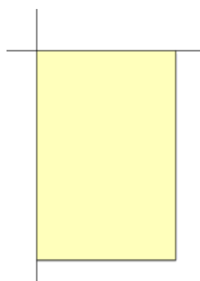


图 3-27　绘制元件外框

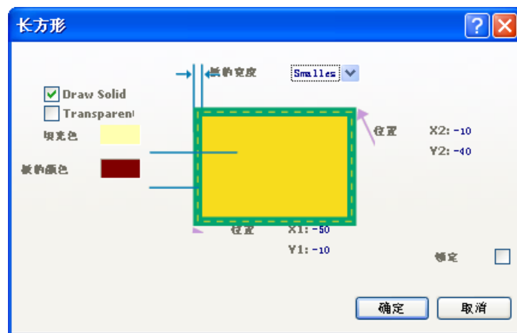



图 3-28　设置“长方形”属性

**提示：在 Altium Designer 13 默认的情况下，矩形的填充色是淡黄色，从 Altium Designer 13 元器件库中取出的芯片外观也都是淡黄色的，因此，不需要更改所放置矩形的填充色，保留默认设置即可。**

Step3 放置引脚。单击“放置”→“引脚”菜单命令，或者单击工具栏的按钮，此时光标变为十字形，并带有一个引脚的浮动虚影，移动光标到目标位置，单击鼠标左键九可以将该引脚放置到图样上。

**提示：在放置引脚时，有电气捕捉标志的一端应该是朝外的，如果需要，可以按空格键将引脚翻转。**

双击放置的元件引脚打开“管脚属性”对话框，在该对话框中可以设置引脚的名称、编号、电气类型和引脚的位置和长短等，如图 3-29 所示。完成属性设置后，在对话框的右上角会显示出设置的效果。单击确定按钮退出对话框。

放置所有引脚并设置其属性，最后得到如图 3-30 所示的元件符号图。




图 3-29　设置引脚属性

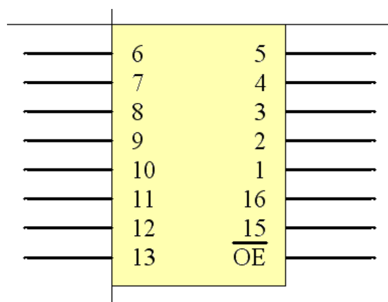



图 3-30　所有引脚放置完成

**提示：在 Altium Designer 13 中，引脚名称上的横线表示该引脚负电平有效。在引脚名称上添加横线的方法是在输入引脚名称时，每输入一个字符后，紧跟着输入一个“\”字符，例如要在 OE 上加一个横线，就可以将其引脚名称设置为“O\E\”。**

Step4 编辑元件。在“SCH Library”(SCH 库)工作面板中单击编辑...按钮，打开“Library Component Properties”(库元件属性)对话框，在该对话框中将元件的默认编号设置为“U?”，将原件的注释设置为 SH868，如图 3-31 所示。

在“Library Component Properties”(库元件属性)对话框右边的“Parameters for SH868”栏中，可以添加一些元件的相关信息，单击添加(A)...按钮打开“参数属性”对话框，在该对话框中可以编辑元件的属性信息，如图 3-32 所示。

Step5 单击确定按钮完成元件属性设置，这样，SH868CMOS 元件便设计完成了。

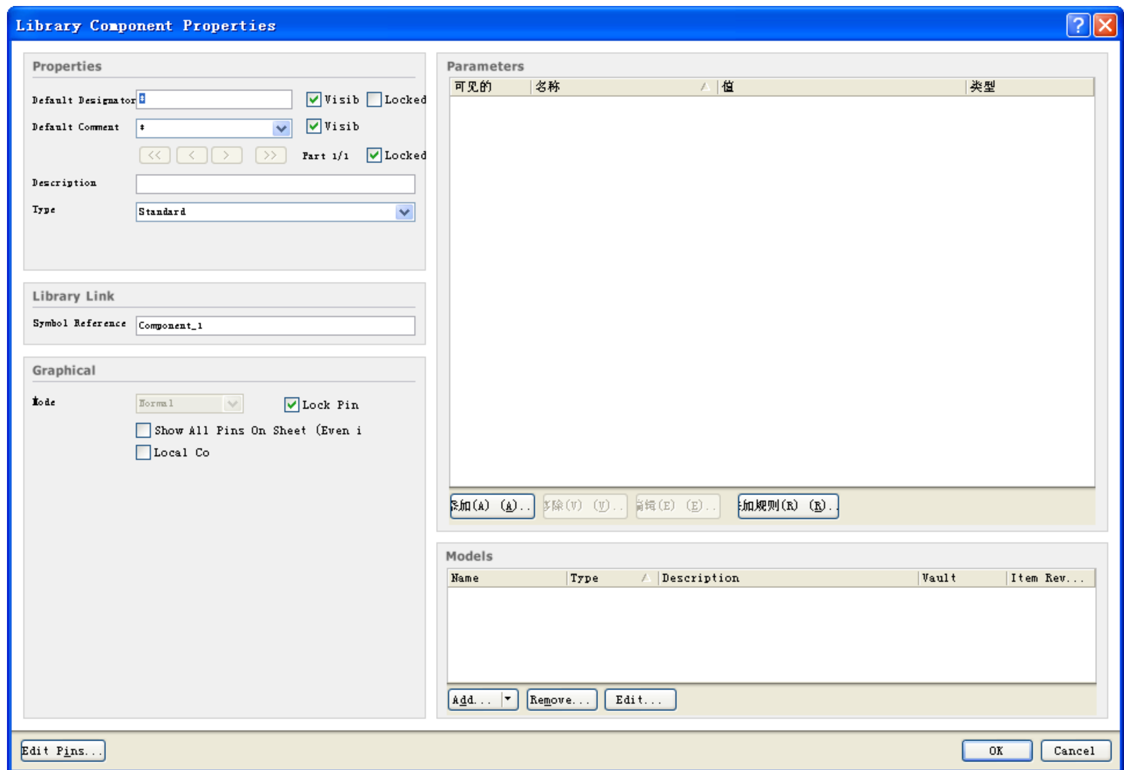


图 3-31　设置元件属性

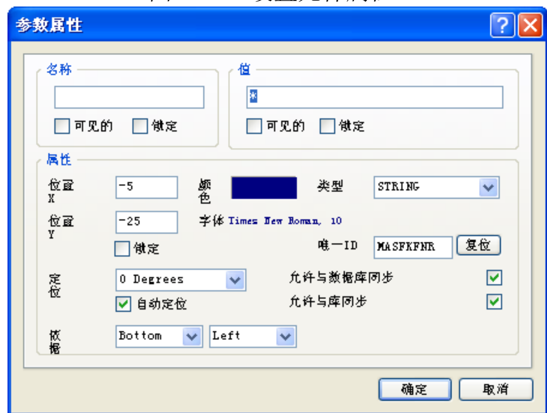


图 3-32　编辑元件的属性信息

5．放置 SH868 到原理图

将自己绘制的 SH868 原理图符号放置到原理图样上，这样，所有的元件就准备齐全了，如图 3-33 所示。

6．元件布局

基于布线方便的考虑，SH868 被放置在电路图中间的位置，完成所有元件的布局，如图 3-34 所示。

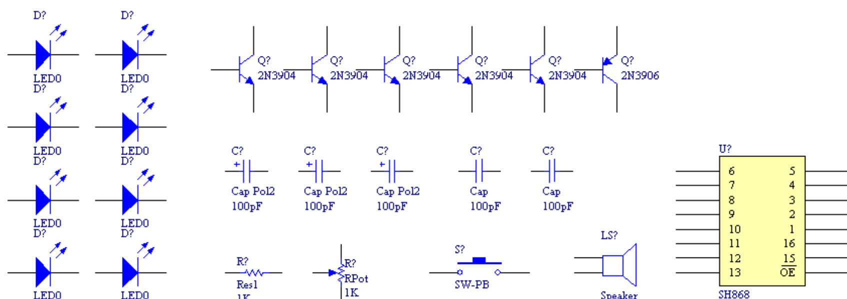



图 3-33　放置完所有元件的原理图

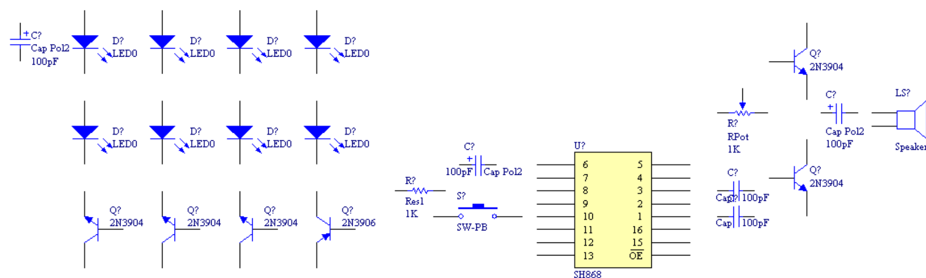



图 3-34　元件布局结果

7．元件布线

单击“放置”→“线”菜单命令，或单击工具栏中的　（放置线）按钮，这时鼠标变成十字形状并附加一个叉记号，移动光标到元件的一个管脚上，当出现红色米字形的电气捕捉符号后，单击确定导线起点，然后拖动鼠标画出导线，在需要拐角或者和元件管脚相连接的地方单击鼠标左键即可。完成导线布置后的原理图如图 3-35 所示。

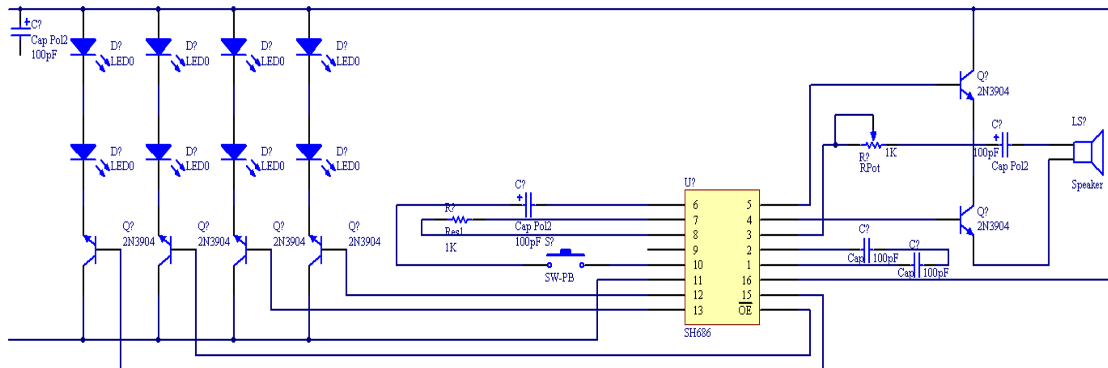



图 3-35　元件布线结果

8．编辑元件属性

Step1 双击三极管的原理图符号，打开“Properties for Schematic Component in Sheet（原理图元件属性）”对话框，在“Properties”（属性）选择区域中的“Designator”（代号）文本框内输入 Q1，在“Comment”（说明）文本框内输入 9013，如图 3-36 所示。设置完成后单击按钮退出对话框。同样的步骤对其余三极管属性进行设置。

Step2 双击电容器的容值，直接打开“参数属性”对话框，在“值”选择区域中的文

本框内输入电容的容值，并选中下面的“可见的”复选框，如图 3-37 所示。用同样的方法修改电容元件的序号和注释。

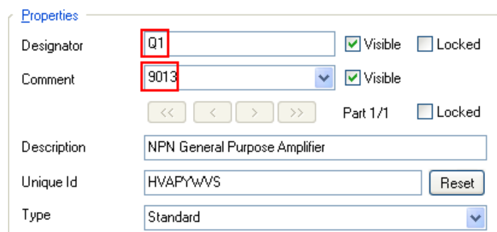



图 3-36　设置三极管属性

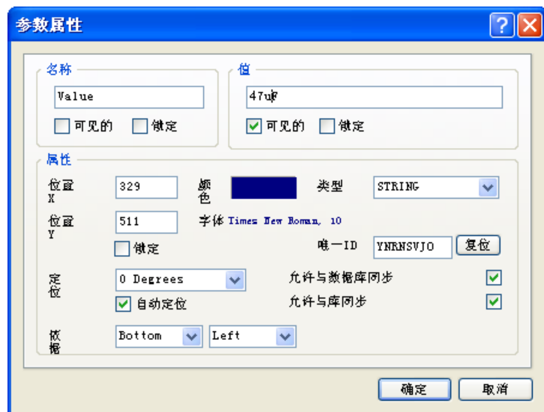



图 3-37　设置电容器容值

Step3 同样的方法，对所有元件的属性进行设置。

Step4 元件的序号等参数在原理图上显示的位置可能不合适，于是就需要改变它们的位置。单击发光二极管元件的序号 DS1，这时在序号的四周会出现一个绿色的边框，表示被选中。单击并按住鼠标左键进行拖动，将二极管的编号拖动到目标位置，然后松开鼠标，这样就可以将元件的序号移动到一个新的位置。

**提示：除了可以用拖动的方法来确定参数的位置之外，还可以采用在“参数属性”对话框中输入坐标的方式来确定参数的位置，但是这种方法不太直观，因此较少使用，只有在需要精确定位的时候才会采用，一般来说都采用拖动的方法来改变参数所在的位置。**

元件的属性编辑完成之后，整个电路图就显得整齐多了，如图 3-38 所示。

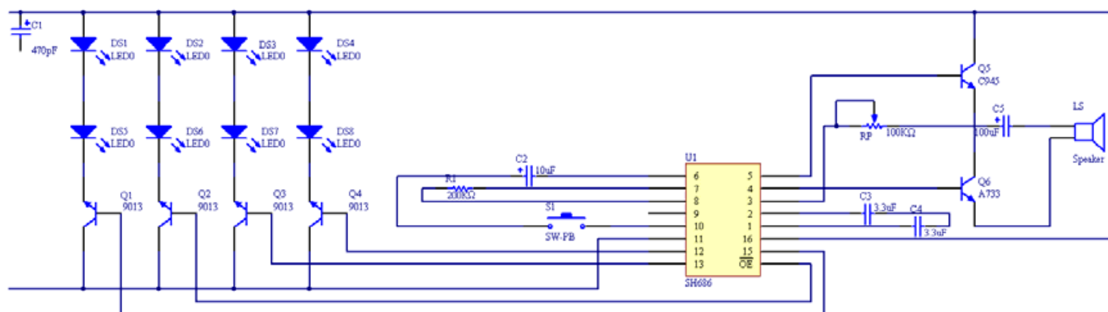



图 3-38　完成元件的属性编辑

9. 放置电源符号和接地符号

电源符号和接地符号是一个电路中必不可少的部分。单击“放置”→“电源端口”菜单命令，或单击工具栏中的（GND 端口）按钮，就可以向原理图中放置接地符号。单击（VCC 电源端口）按钮，鼠标光标变为十字形，并带有一个电源符号，移动光标到目标位置并单击鼠标左键，就可以将电源符号放置在原理图中。放置完成电源符号和接地符号的原理图如图 3-39 所示。

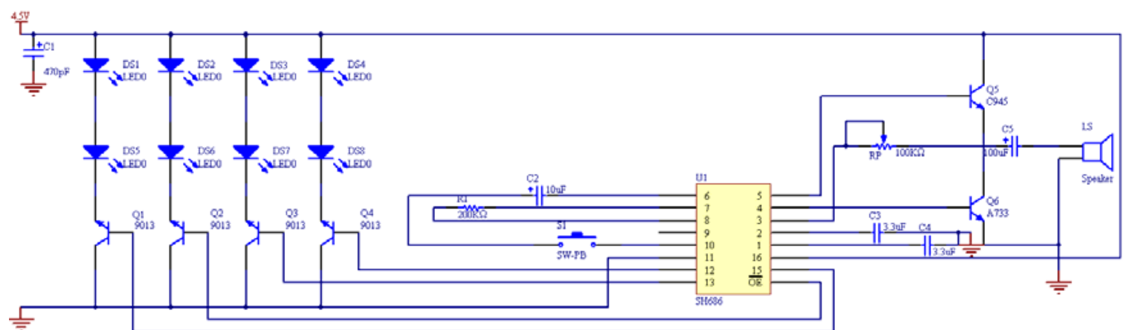



图 3-39 完成电源符号和接地符号放置的原理图

在放置电源符号的时候，有时需要标明电源的电压，这时只要双击放置的电源符号，打开如图 3-40 所示的“电源端口”对话框，在对话框的“网络”文本框中输入电压值，然后单击按钮退出即可。

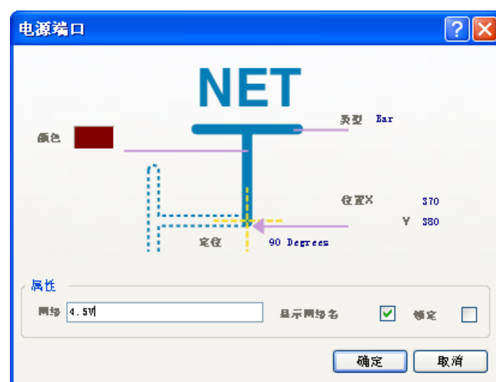



图 3-40 设置电源属性

# 第 4 章

# 原理图的后续处理

前面介绍了原理图的绘制方法和技巧，本章将介绍原理图中的常用操作和报表打印输出。

知识点

- 原理图中的视图操作
- 原理图中的查找与替换操作
- 报表打印输出

# 4.1　原理图中的常用操作

## 4.1.1　工作窗口的缩放

在原理图编辑器中，提供了电路原理图的缩放功能，以便于用户进行观察。单击菜单栏中的“察看”命令，其菜单如图 4-1 所示。在该菜单中列出了对原理图画面进行缩放的多种命令。

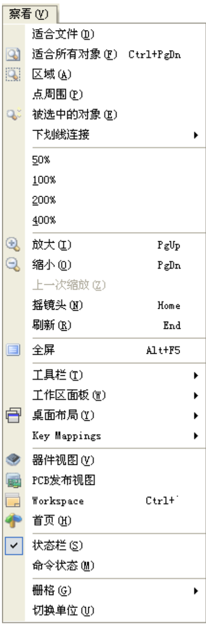



图 4-1　“察看”菜单

菜单中有关窗口缩放的操作可分为以下几种类型：

### 1. 在工作窗口中显示选择的内容

该类操作包括在工作窗口显示整个原理图、显示所有元件、显示选定区域、显示选定元件和选中的坐标附近区域，它们构成了“察看”菜单的第一栏。

- “适合文件”：用于观察并调整整张原理图的布局。单击该命令后，在编辑窗口中将以最大比例显示整张原理图的内容，包括图样边框、标题栏等。
- “适合所有对象”：用于观察整张原理图的组成概况。单击该命令之后，在编辑窗口中将以最大比例显示电路原理图上的所有元件。
- “区域”：在工作窗口选中一个区域，放大选中的区域。具体的操作方法是：单击该命令，光标以十字形状出现在工作窗口中，在工作窗口单击，确定区域的一个顶点，移动光标确定区域的对角顶点，单击，在工作窗口中将只显示刚才选择的区域。
- “点周围”：在工作窗口显示一个坐标点附近的区域。同样是用于放大选中的区域，但区域的选择与上一个命令不同。具体的操作方法是：单击该命令，光标以十字形状出现在工作窗口中，移动光标到想至显示的点，单击后移动光标，在工作窗口将出现一个以该点为中心的虚线框；确定虚线框的范围后，单击，工作窗口将会显示虚线框所包含的范围。
- “被选中的对象”：用于放大显示选中的对象。单击该命令后，选中的多个对象，将以适当的尺寸放大显示。

### 2. 显示比例的缩放

该类操作包括确定原理图的显示比例、原理图的放大和缩小显示，以及按原比例显示原理图上坐标点附近区域，它们一起构成了“察看”菜单的第二栏和第三栏。

### 3. 使用快捷键和工具栏按钮执行视图显示操作

Altium Designer 13 为大部分的视图操作提供了快捷键，为常用视图操作提供了工具栏按钮，具体如下：

（1）快捷键

- Ctrl+PageDown：在工作窗口中显示整个原理图。
- Ctrl+5：在工作窗口中按 50％的比例显示实际图样。
- Ctrl+1：在工作窗口中按正常大小显示实际图样。
- Ctrl+2：在工作窗口中按 200％的比例显示实际图样。
- Ctrl+4：在工作窗口中按 400％的比例显示实际图样。
- PageUp：放大显示。
- PageDown：缩小显示。
- Home：按原比例显示以光标所在位置为中心的附近区域。

（2）工具栏按钮

- （适合所有对象）按钮：在工作窗口中显示所有对象。
- （缩放区域）按钮：在工作窗口中显示选定区域。
- （选择缩放）按钮：在工作窗口中显示选定元件。

4．使用鼠标滚轮平移和缩放

（1）平移

- 向上滚动鼠标滚轮则向上平移图样，向下滚动则向下平移图样。
- 按住 Shift 键同时向下滚动鼠标滚轮会向右平移图样。
- 按住 Shift 键同时向上滚动鼠标滚轮会向左平移图样。

（2）放大：按住 Ctrl 键同时向上滚动鼠标滚轮会放大显示图样。

（3）缩小：按住 Ctrl 键同时向下滚动鼠标滚轮会缩小显示图样。

### 4.1.2　刷新原理图

绘制原理图时，在完成滚动画面、移动元件等操作后，有时会出现画面显示残留的斑点、线段或图形变形等问题。虽然这些内容不会影响电路的正确性，但是为了美观起见，建议用户单击菜单栏中的“查看”→“刷新”命令或者按 End 键刷新原理图。

### 4.1.3　高级粘贴

在原理图中，某些同类型元件可能有很多个，如电阻、电容等，它们具有大致相同的属性。如果一个个地放置它们，设置它们的属性，工作量大而且繁琐。Altium Designer 13 提供了高级粘贴功能，大大方便了粘贴操作，可以通过“编辑”菜单中的“Smart Paste…（智能粘贴）”命令完成。其具体操作步骤如下：

Step1　复制或剪切某个对象，使 Windows 的剪切板中有内容。

Step2　单击菜单栏中的“编辑”→“灵巧粘贴”命令，系统将弹出如图 4-2 所示的“智

能粘贴”对话框。

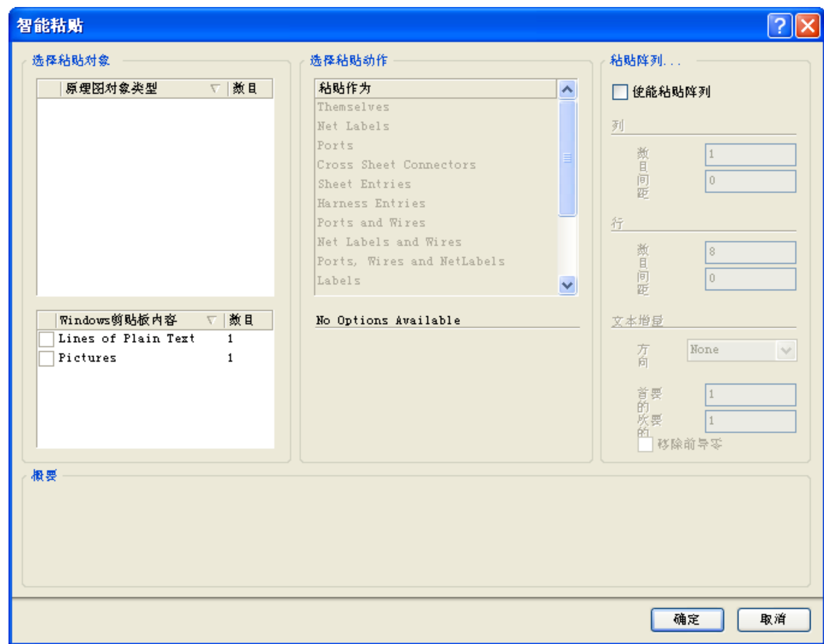



图 4-2 “智能粘贴”对话框

Step3 在“智能粘贴”对话框中，可以对要粘贴的内容进行适当设置，然后再执行粘贴操作。其中各选项组的功能如下：

- “选择粘贴对象”选项组：用于选择要粘贴的对象。
- “选择粘贴动作”选项组：用于设置要粘贴对象的属性。
- “粘贴阵列”选项组：用于设置阵列粘贴。下面的“使能粘贴阵列”复选框用于控制阵列粘贴的功能。阵列粘贴是一种特殊的粘贴方式，能够一次性地按照指定间距将同一个元件或元件组重复地粘贴到原理图图样上。当原理图中需要放置多个相同对象时，该操作会很有用。

Step4 勾选“使能粘贴陈列”复选框，阵列粘贴的设置如图 4-3 所示。其中需要设置的粘贴阵列参数如下：

1）“列”选项组：用于设置水平方向阵列粘贴的数量和间距。

- “数目”文本框：用于设置水平方向阵列粘贴的列数。
- “间距”文本框：用于设置水平方向阵列粘贴的间距。若设置为正数，则元件由左向右排列；若设置为负数，则元件由右向左排列。

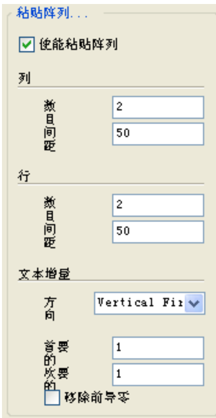



图 4-3 设置阵列粘贴

2）“行”选项组：用于设置竖直方向阵列粘贴的数量和间距。

- “数目”文本框：用于设置竖直方向阵列粘贴的行数。
- “间距”文本框：用于设置竖直方向阵列粘贴的间距。若设置为正数，则元件由下到上排列；若设置为负数，则元件由上到下排列。

3）“文本增量”选项组：用于设置阵列粘贴中元件标号的增量。

- “方向”下拉列表框：用于确定元件编号递增的方向。有 None（无）、Horizontal First（先水平）和 Vertical First（先竖直）3 种选择。
  - ➢ None（无）：表示不改变元件编号。
  - ➢ Horizontal First（先水平）：表示元件编号递增的方向是先按水平方向从左向右递增，再按竖直方向由下往上递增。“Secondary（次要的）”文本框用于在复制引脚时，设置引脚序号的增量。
  - ➢ Vertical First（先竖直）：表示先竖直方向由下往上递增，再水平方向从左向右递增。“Primary（主要的）”文本框用于设置每次递增时，元件主编号的增量。“Secondary（次要的）”文本框用于在复制引脚时，设置引脚序号的增量。
- “首要的”文本框：用于指定相邻两次粘贴之间元件标识的编号增量，系统的默认设置为 1。
- “次要的”文本框：用于指定相邻两次粘贴之间元件引脚编号的数字增量，系统的默认设置为 1。

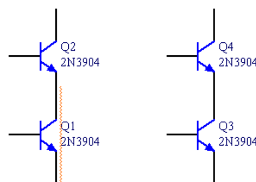


图 4-4 阵列粘贴的效果

设置完毕后，单击“确定”按钮，移动光标到合适位置单击即可。阵列粘贴的效果如图 4-4 所示。

## 4.1.4 查找与替换

### 1. 查找与替换文本

（1）“文本查找”：该命令用于在电路图中查找指定的文本，通过此命令可以迅速找到包含某一文字标识的图元。下面介绍该命令的使用方法。

单击菜单栏中的“编辑”→“查找文本”命令，或者用快捷键 Ctrl+F，系统将弹出如图 4-5 所示的“发现原文”对话框。

“发现原文”对话框中个选项的功能如下：



图 4-5 “发现原文”对话框

- “文本被发现”文本框：用于输入需要查找的文本。
- “范围”选项组：包含“Sheet 范围（原理图文档范围）”、“选择”和“标识符”3 个下拉列表框。“Sheet 范围”下拉列表框用于设置所要查找的电路图范围，包含 Current Document（当前文档）、Project Document（项目文档）、Open Document（已打开的文档）和 Document On Path（选定路径中的文档）4 个选项。“选择”下拉列表框用于设置需要查找的文本对象的范围，包含 All Objects（所有对象）、Selected Objects

（选择的对象）和 Deselected Objects（未选择的对象）3 个选项。All Objects（所以对象）表示对所有的文本对象进行查找，Selected Objects（选择的对象）表示对选中的文本对象进行查找，Deselected Objects（未选择的对象）表示对没有选中的文本对象进行查找。"标识符"下拉列表框用于设置查找的电路图标识符范围，包含 All Identifiers（所有 ID）、Net Identifiers Only（仅网络 ID）和 Designators Only（仅标号）3 个选项。

- "Options（选项）"选项组：用于匹配查找对象所具有的特殊属性，包含"敏感案例"、"仅完全字"和"跳至结果"3 个复选框。勾选"敏感案例"复选框表示查找时要注意大小写的区别；勾选"仅安全字"复选框表示只查找具有整个单词匹配的文本，要查找的网络标识包含的内容有网络标号、电源端口、I/O 端口、方块电路 I/O 口；勾选"跳至结果"复选框表示查找后跳到结果处。

用户按照自己的实际情况设置完对话框的内容后，单击"确定"按钮开始查找。

（2）"文本替换"：该命令用于将电路图中指定文本用新的文本替换掉，该操作在需要将多处相同文本修改成另一文本时非常有用。首先单击菜单栏中的"编辑"→"替换文本"命令，或按用快捷键 Ctrl+H，系统将弹出如图 4-6 所示的"发现并替代原文"对话框。




图 4-6 "发现并替代原文"对话框

可以看出如图 4-6 和图 4-5 所示的两个对话框非常相似，对于相同的部分，这里不再赘述，读者可以参看"查找文本"命令，下面只对上面未提到的一些选项进行解释。

- "替代"文本框：用于输入替换原文本的新文本。
- "替代提示"复选框：用于设置是否显示确认替换提示对话框。如果勾选该复选框，表示在进行替换之前，显示确认替换提示对话框，反之不显示。

（3）"发现下一处"：该命令用于查找"发现下一个"对话框中指定的文本，也可以用快捷键 F3 来执行该命令。

2．查找相似对象

在原理图编辑器中提供了查找相似对象的功能。具体的操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的"编辑"→"查找相似对象"命令，光标将变成十字形状出现在工作窗口中。

Step2 移动光标到某个对象上，单击，系统将弹出如图 4-7 所示的"发现相似目标"对话框，在该对话框中列出了该对象的一系列属性。通过对各项属性进行匹配程度的设置，可决定搜索的结果。这里以搜索和三极管类似的元件为例，此时该对话框给出了如下的对象属性：

- "Kind（种类）"选项组：显示对象类型。

- “设计”选项组：显示对象所在的文档。
- “Graphical（图形）”选项组：显示对象图形属性。
  - X1：X1 坐标值。
  - Y1：Y1 坐标值。
  - Orientation（方向）：放置方向。
  - Locked（锁定）：确定是否锁定。
  - Mirrored（镜像）：确定是否镜像显示。
  - Show Hidden Pins（显示隐藏引脚）：确定是否显示隐藏引脚。
  - Show Designator（显示标号）：确定是否显示标号。
- “Object Specific（对象特性）”选项组：显示对象特性。
  - Description（描述）：对象的基本描述。
  - Lock Designator（锁定标号）：确定是否锁定标号。
  - Lock Part ID（锁定元件 ID）：确定是否锁定元件 ID。
  - Pins Locked（引脚锁定）：锁定的引脚。
  - File Name（文件名称）：文件名称。
  - Configuration（配置）：文件配置。
  - Library（元件库）：库文件。
  - Symbol Reference（符号参考）：符号参考说明。
  - Component Designator（组成标号）：对象所在的元件标号。
  - Current Part（当前元件）：对象当前包含的元件。
  - Part Comment（元件注释）：关于元件的说明。
  - Current Footprint（当前封装）：当前元件封装。
  - Current Type（当前类型）：当前元件类型。
  - Database Table Name（数据库表的名称）：数据库中表的名称。
  - Use Library Name（所用元件库的名称）：所用元件库名称。
  - Use Database Table Name（所用数据库表的名称）：当前对象所用的数据库表的名称。
  - Design Item ID（设计 ID）：元件设计 ID。

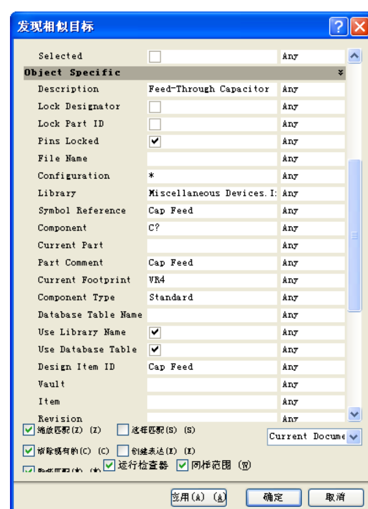


图 4-7 “发现相似目标”对话框

在选中元件的每一栏属性后都另有一栏，在该栏上单击将弹出下拉列表框，在下拉列表框中可以选择搜索时对象和被选择的对象在该项属性上的匹配程度，包含以下 3 个选项：

- Same（相同）：被查找对象的该项属性必须与当前对象相同。
- Different（不同）：被查找对象的该项属性必须与当前对象不同。
- Any（忽略）：查找时忽略该项属性。

例如，这里对三极管搜索类似对象，搜索的目的是找到所有和三极管有相同取值和相同

封装的元件，在设置匹配程度时在“Part Comment（元件注释）”和“Current Footprint（当前封装）”属性上设置为“Same（相同）”，其余保持默认设置即可。

Step3 单击“Apply（应用）”按钮，在工作窗口中将屏蔽所有不符合搜索条件的对象，并跳转到最近的一个符合要求的对象上。此时可以逐个查看这些相似的对象。

## 4.2　报表打印输出

原理图设计完成后，经常需要输出一些数据或图样。本节将介绍 Altium Designer 13 原理图的报表打印输出。

Altium Designer 13 具有丰富的报表功能，可以方便地生成各种不同类型的报表。当电路原理图设计完成并且经过编译检查之后，应该充分利用系统所提供的这种功能来创建各种原理图的报表文件。借助于这些报表，用户能够从不同的角度，更好地掌握整个项目的设计信息，以便为下一步的设计工作做好充足的准备。

### 4.2.1　打印输出

为方便原理图的浏览和交流，经常需要将原理图打印到图样上。Altium Designer 13 提供了直接将原理图打印输出的功能。

在打印之前首先进行页面设置。单击菜单栏中的“文件”→“页面设置”命令，弹出“Schematic Print Properties（原理图打印属性）”对话框，如图 4-8 所示。单击“打印设置”按钮，弹出打印机设置对话框，对打印机进行设置，如图 4-9 所示。设置、预览完成后，单击“打印”按钮，打印原理图。

此外，单击菜单栏中的“文件”→“打印”命令，或单击“原理图标准”工具栏中的（打印）按钮，也可以实现打印原理图的功能。

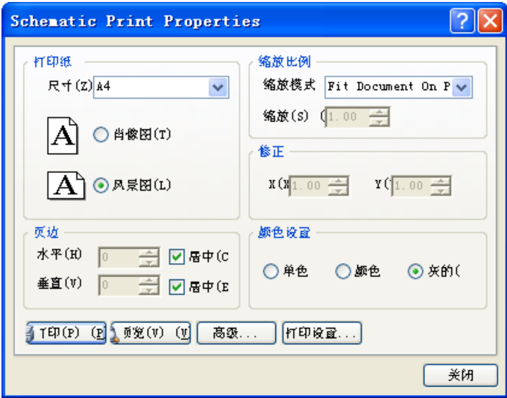



图 4-8　“Schematic Print Properties”对话框

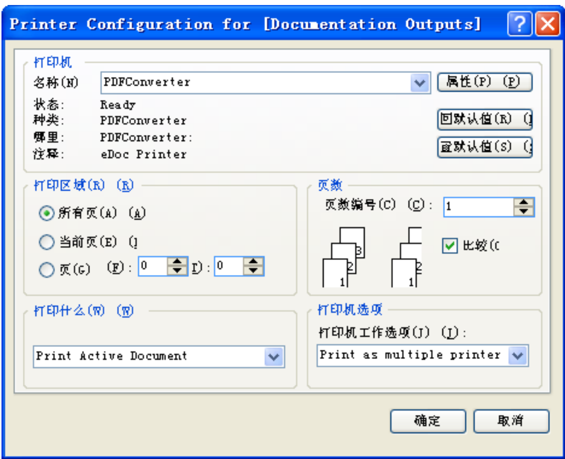



图 4-9　设置打印机

### 4.2.2 网络表

在由原理图生成的各种报表中，网络表是最为重要的。所谓网络，指的是彼此连接在一起的一组元件引脚，一个电路实际上就是由若干网络组成的。而网络表就是对电路或者电路原理图的一个完整描述，描述的内容包括两个方面：一是电路原理图中所有元件的信息（包括元件标识、元件引脚和 PCB 封装形式等）；二是网络的连接信息（包括网络名称、网络节点等），这些都是进行 PCB 布线、设计 PCB 印制电路板不可缺少的依据。

具体来说，网络表包括两种，一种是基于单个原理图文件的网络表，另一种是基于整个项目的网络表。

### 4.2.3 基于整个项目的网络表

下面以实例“MCU.PrjPCB”为例，介绍项目网络表的创建过程及功能特点。在创建网络表之前，应先进行简单的选项设置。

1. 网络表选项设置

打开项目文件“MCU.PrjPCB”，并打开其中的任一电路原理图文件。单击菜单栏中的“工程”→“工程参数”命令，弹出项目管理选项对话框。单击“Options（选项）”选项卡，如图 4-10 所示。其中各选项的功能如下：

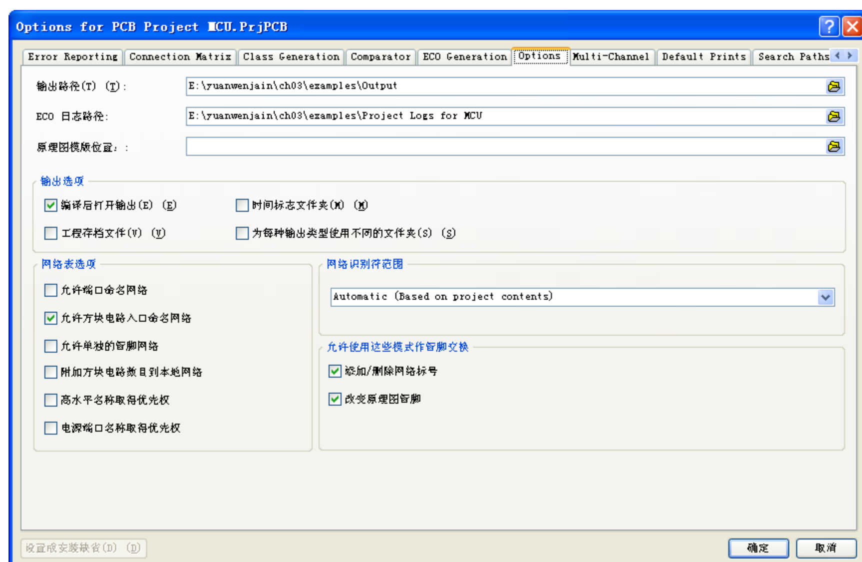



图 4-10 “Options”选项卡

（1）“Output Path（输出路径）”文本框：用于设置各种报表（包括网络表）的输出路径，系统会根据当前项目所在的文件夹自动创建默认路径。例如，在图 4-10 中，系统创建的默认路径为“:\yuanwenjian\ch_03\examples\Project Outputs for MCU”。单击右侧的（打开）图标，可以对默认路径进行更改。

（2）“ECO 日志路径”文本框：用于设置 ECO Log 文件的输出路径，系统会根据当前项目所在的文件夹自动创建默认路径。单击右侧的 （打开）图标，可以对默认路径进行更改。

（3）“输出选项”选项组：用于设置网络表的输出选项，一般保持默认设置即可。

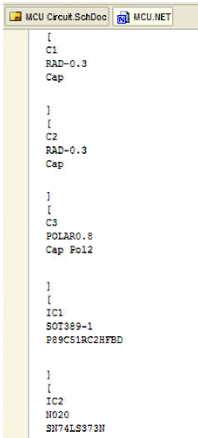
（4）“网络表选项”选项组：用于设置创建网络表的条件。

- “允许端口命名网络”复选框：用于设置是否允许用系统产生的网络名代替与电路输入/输出端口相关联的网络名。如果所设计的项目只是普通的原理图文件，不包含层次关系，可勾选该复选框。
- “允许方块电路入口命名网络”复选框：用于设置是否允许用系统生成的网络名代替与图样入口相关联的网络名，系统默认勾选。
- “允许单独的管脚网络”复选框：用于设置生成网络表时，是否允许系统自动将管脚号添加到各个网络名称中。
- “附加方块电路数目到本地网络”复选框：用于设置生成网络表时，是否允许系统自动将图样号添加到各个网络名称中。当一个项目中包含多个原理图文档时，勾选该复选框，便于查找错误。
- “高水平名称取得优先权”复选框：用于设置生成网络表时排序优先权。勾选该复选框系统以名称对应结构层次的高低决定优先权。
- “电源端口名称取得优先权”复选框：用于设置生成网络表时的排序优先权。勾选该复选框，系统将对电源端口的命名给予更高的优先权。

在本例中，使用系统默认的设置即可。

2. 创建项目网络表

单击菜单栏中的“设计”→“工程的网络表”→“Protel（生成项目网络表）”命令。系统自动生成了当前项目的网络表文件“MCU.NET”，并存放在当前项目下的“Generated \Netlist Files”文件夹中。双击打开该项目网络表文件“MCU.NET”，结果如图 4-11 所示。该网络表是一个简单的 ASCII 码文本文件，由多行文本组成。内容分成了两大部分，一部分是元件的信息，另一部分是网络信息。




```
[
C1
RAD-0.3
Cap

]
[
C2
RAD-0.3
Cap

]
[
C3
POLAR0.8
Cap Pol2

]
[
IC1
SOT389-1
P89C51RC2HFBD

]
[
IC2
N020
SN74LS373N
```

图 4-11　打开项目网络表文件

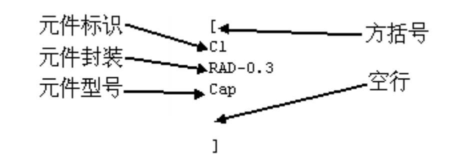



图 4-12　一个元件的信息组成

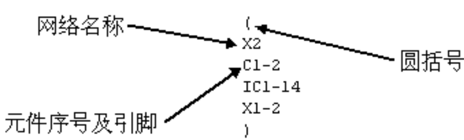



图 4-13　一个网络的信息组成

元件信息由若干小段组成，每一个元件的信息为一小段，用方括号分隔，由元件标识、元件封装形式、元件型号、数值等组成，如图 4-12 所示。空行则是由系统自动生成的。

网络信息同样由若干小段组成，每一个网络的信息为一小段，用圆括号分隔，由网络名称和网络中所有具有电气连接关系的元件序号及引脚组成，如图 4-13 所示。

## 4.2.4　基于单个原理图文件的网络表

下面实例项目“MCU.PrjPCB”中的一个原理图文件“MCU Circuit.SchDoc”为例，介绍基于单个原理图文件网络表的创建过程。

打开项目“MCU.PrjPCB”中的原理图文件“MCU Circuit.SchDoc”。单击菜单栏中的“设计”→“文件的网络表”→“Protel（生成原理图网络表）”命令，系统自动生成了当前原理图的网络表文件“MCU Circuit.NET”，并存放在当前项目下的“Generated\Netlist Files”文件夹中。双击打开该原理图的网络表文件“MCU Circuit.NET”，结果如图 4-14 所示。

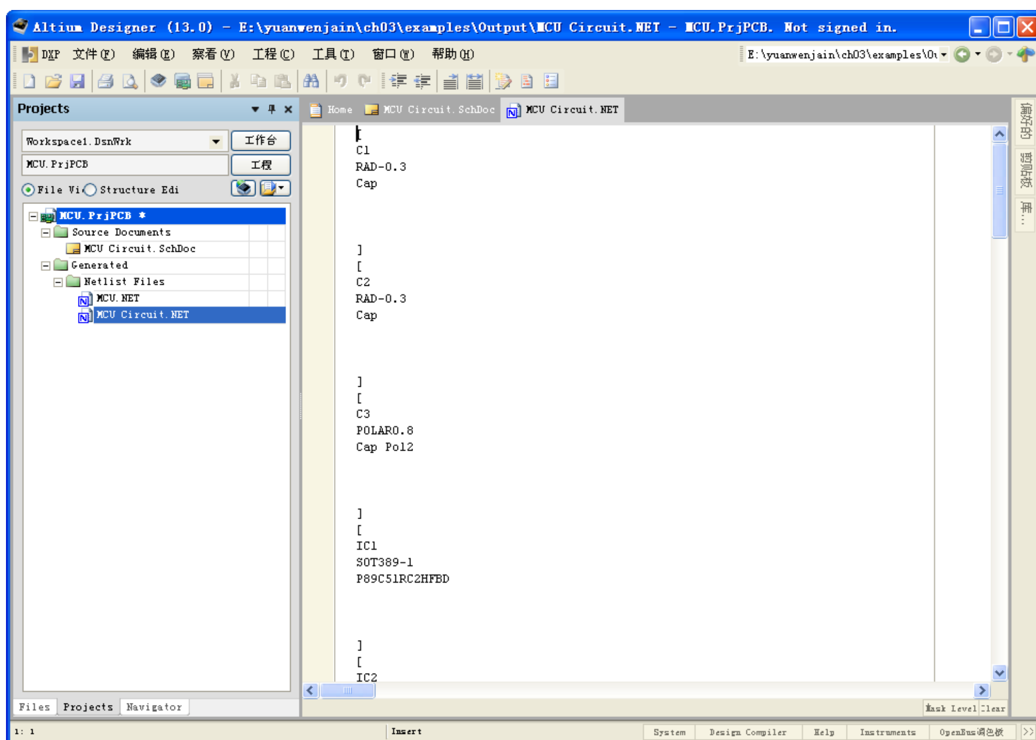



图 4-14　打开原理图的网络表文件

该网络表的组成形式与上述基于整个项目的网络表是一样的，在此不再重复。

由于该项目只有一个原理图文件，因此基于原理图文件的网络表“MCU Circuit.NET”与基于整个项目的网络表“MCU.NET”虽然名称不同，但所包含的内容却是完全相同的。

### 4.2.5 生成元件报表

元件报表主要用来列出当前项目中用到的所有元件标识、封装形式、元件库中的名称等，相当于一份元件清单。依据这份报表，用户可以详细查看项目中元件的各类信息，同时在制作印制电路板时，也可以作为元件采购的参考。

下面仍以项目“MCU.PrjPCB”为例，介绍元件报表的创建过程及功能特点。

1. 元件报表的选项设置

打开项目“MCU.PrjPCB”中的原理图文件“MCU Circuit.SchDoc”，单击菜单栏中的“报告”→“Bill of Materials（元件清单）”命令，系统弹出相应的元件报表对话框，如图 4-15 所示。在该对话框中，可以对要创建的元件报表的选项进行设置。左侧有两个列表框，它们的功能如下：

- “聚合的纵队”列表框：用于设置元件的归类标准。如果将“全部纵队”列表框中的某一属性信息拖到该列表框中，则系统将以该属性信息为标准，对元件进行归类，显示在元件报表中。

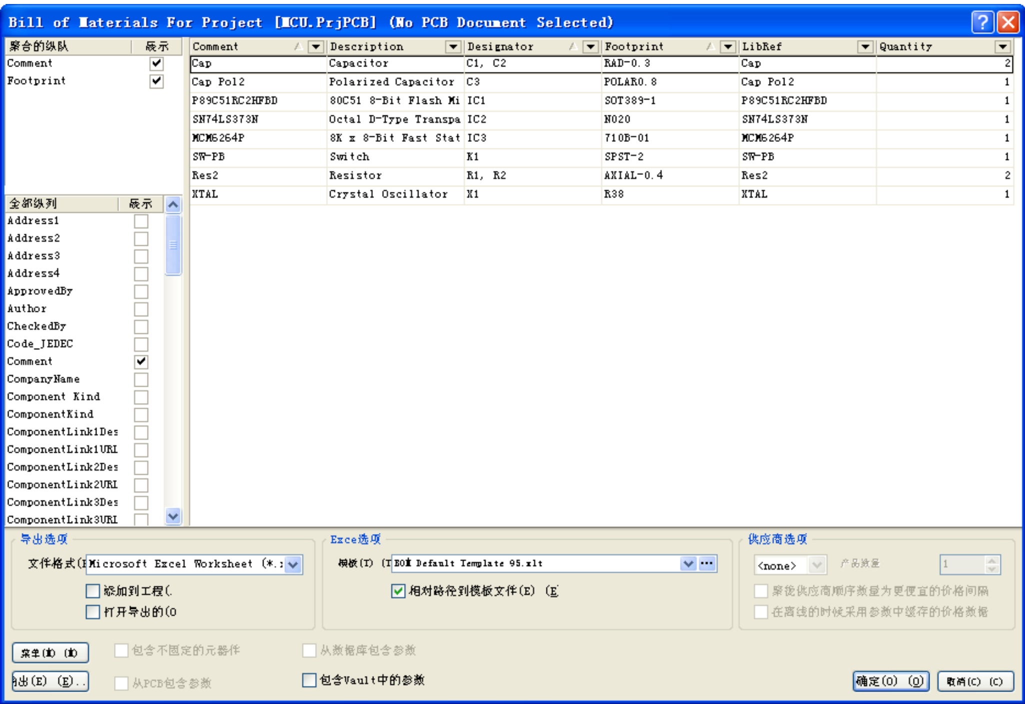



图 4-15 设置元件报表

- “全部纵队”列表框：用于列出系统提供的所有元件属性信息，如 Description（元件描述信息）、Component Kind（元件种类）等。对于需要查看的有用信息，勾选右侧与之对应的复选框，即可在元件报表中显示出来。在图 4-15 中使用了系统的默认设置，即只勾选了“Comment（注释）”、“Description（描述）”、“Designator

（指示符）”、“Footprint（封装）”、“LibRef（库编号）”和“Quantity（数量）”6个复选框。

例如，勾选“全部纵队”列表框中的“Description（描述）”复选框，将该选项拖到“聚合的纵队”列表框中。此时，所有描述信息相同的元件被归为一类，显示在右侧的元件列表中，如图 4-16 所示。

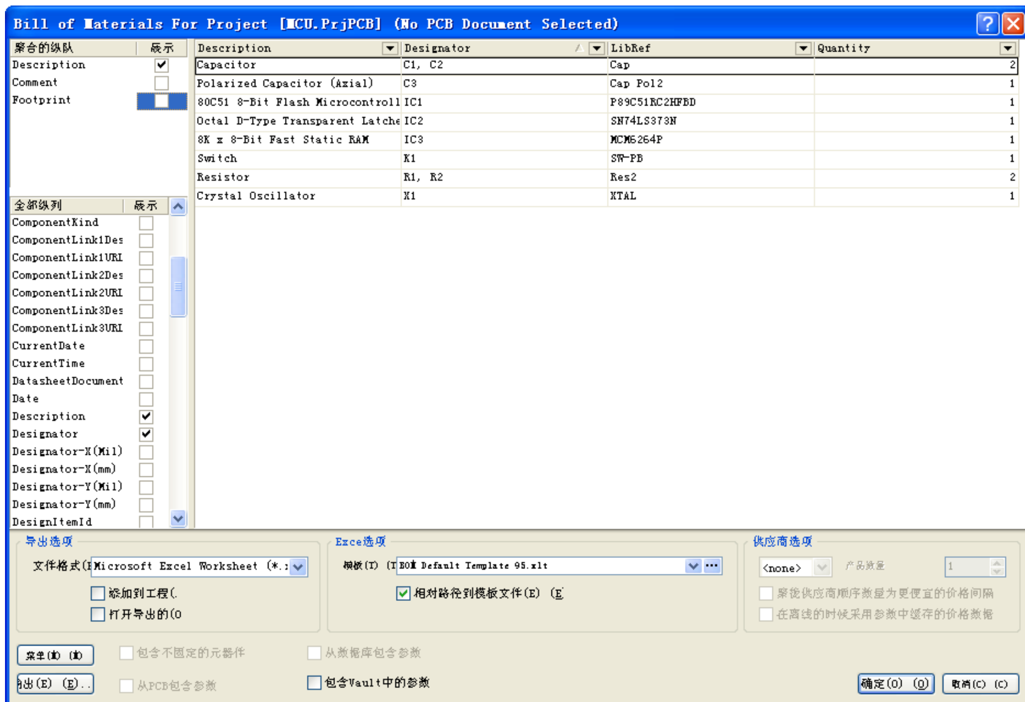



图 4-16　元件归类显示

另外，在右侧元件列表的各栏中，都有一个下拉按钮，单击该按钮，同样可以设置元件列表的显示内容。

例如，单击元件列表中“Description（描述）”栏的下拉按钮▼，会弹出如图 4-17 所示的下拉列表框。

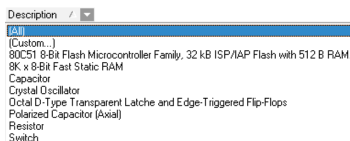



图 4-17　“Description”下拉列表框

在该下拉列表框中，可以选择“All（显示全部元件）”选项，也可以选择“Custom（定制方式显示）”选项，还可以只显示具有某一具体描述信息的元件。例如选择“Switch（转换）”选项，则相应的元件列表如图 4-18 所示。

在列表框的下方，还有若干选项和按钮，其功能如下：

- “文件格式”下拉列表框：用于为元件报表设置文件输出格式。单击右侧的下拉按

钮▼，可以选择不同的文件输出格式，如 CVS 格式、Excel 格式、PDF 格式、html 格式、文本格式、XML 格式等。

- “添加到工程”复选框：若勾选该复选框，则系统在创建了元件报表之后会将报表直接添加到项目里面。
- “打开导出的报表”复选框：若勾选该复选框，则系统在创建了元件报表以后，会自动以相应的格式打开。

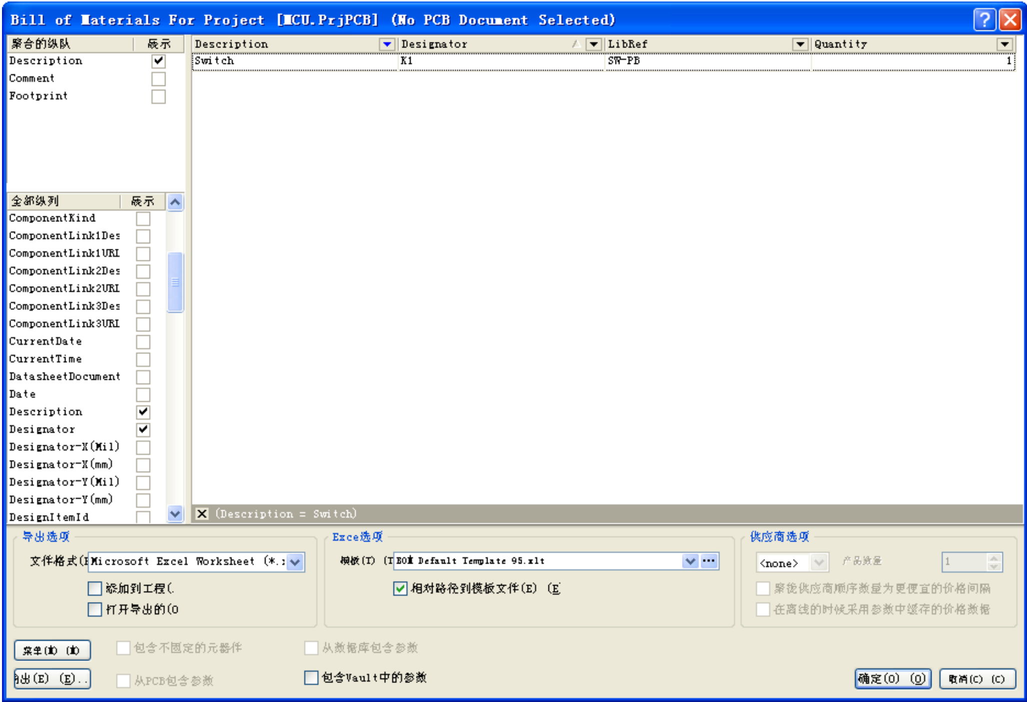



图 4-18　只显示描述信息为“Switch”的元件

- “模板”下拉列表框：用于为元件报表设置显示模板。单击右侧的下拉按钮▼，可以使用曾经用过的模板文件，也可以单击…按钮重新选择。选择时，如果模板文件与元件报表在同一目录下，则可以勾选下面的“Relative Path to Template File（模板文件的相对路径）”复选框，使用相对路径搜索，否则应该使用绝对路径搜索。
- “菜单”按钮：单击该按钮，弹出如图 4-19 所示的“Menu（菜单）”菜单。由于该菜单中的各项命令比较简单，在此不一一介绍，用户可以自己练习操作。
- “输出”按钮：单击该按钮，可以将元件报表保存到指定的文件夹中。
- “强制列查看”复选框：若勾选该复选框，则系统将根据当前元件报表窗口的大小重新调整各栏的宽度，使所有项目都可以显示出来。

设置好元件报表的相应选项后，就可以进行元件报表的创建、显示及输出了。元件报表可以以多种格式输出，但一般选择 Excel 格式。

2. 元件报表的创建

Step1 单击“菜单”按钮，在“菜单”菜单中单击“报告”命令，系统将弹出“报告预览”对话框，如图 4-20 所示。

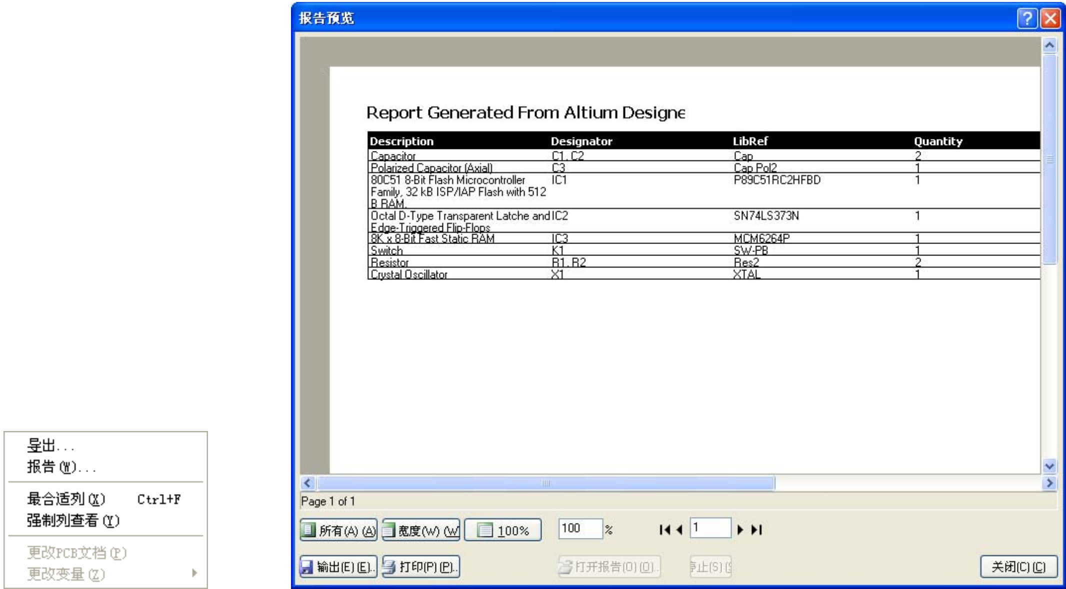



图 4-19 “菜单”菜单　　　　　　　　　　图 4-20 “报告预览”对话框

Step2 单击“输出”按钮，可以将该报表进行保存，默认文件名为“MCU.xls”，是一个 Excel 文件；单击“打开报告”按钮，可以将该报表打开；单击“打印”按钮，可以将该报表打印输出。

Step3 在元件报表对话框中，单击 按钮，在“X:\Program Files\AD 13\Template”目录下，选择系统自带的元件报表模板文件“BOM Default Template.XLT”，如图 4-21 所示。

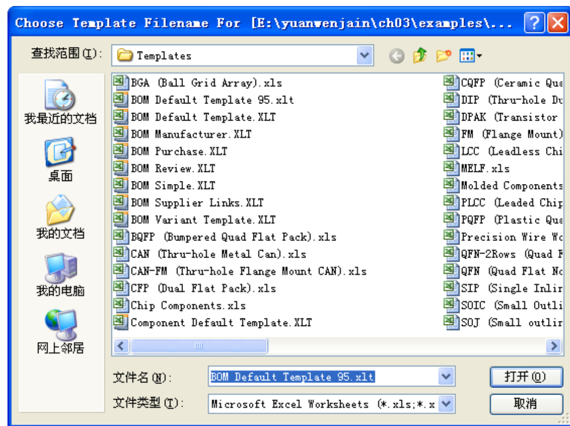



图 4-21 选择元件报表模板

Step4 单击“打开”按钮后，返回报表预览对话框。单击“确定”按钮，退出该对话框。

此外，Altium Designer 13 还为用户提供了推荐的元件报表，不需要进行设置即可产生。

单击菜单栏中的“报告”→“Simple BOM（简单元件清单报表）”命令，系统同时产生“MCU.BOM”和“MCU.CSV”两个文件，并加入到项目中，如图 4-22 所示。

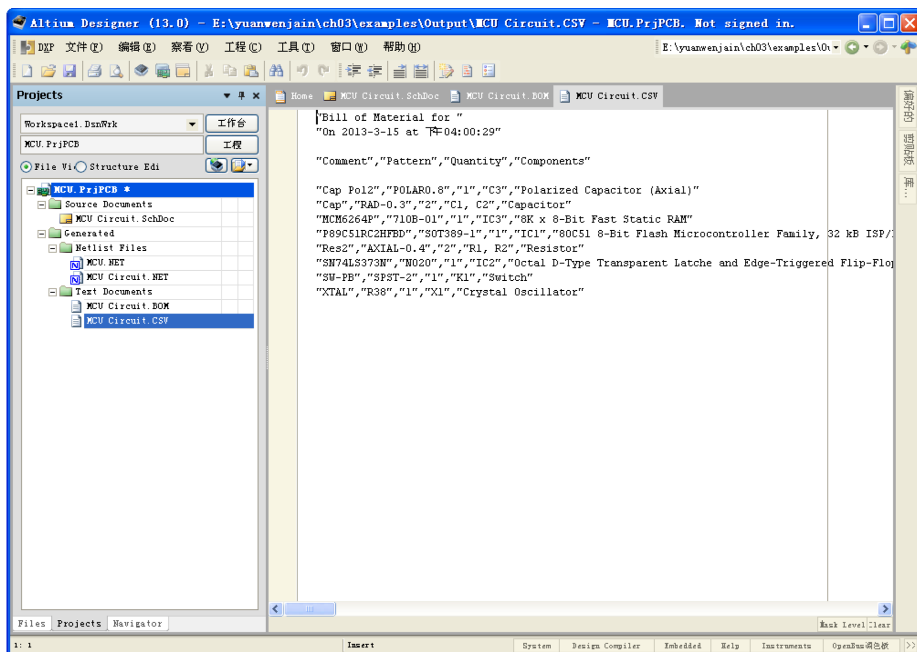



图 4-22 简单元件报表

## 4.3 操作实例——音量控制电路

音量控制电路是所有音响设备中必不可少的单元电路。本实例设计一个如图 4-23 所示的音量控制电路，并对其进行报表输出操作。

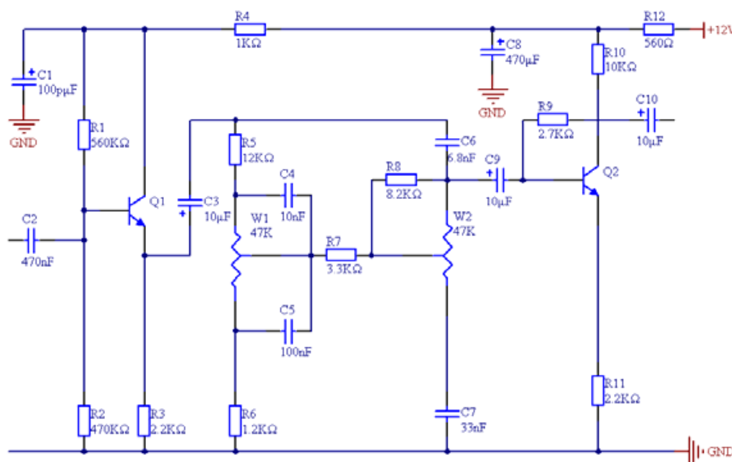



图 4-23 音量控制电路

具体的设计过程如下：

1. 新建项目

Step1 启动 Altium Designer 13，单击菜单栏中的“文件”\“New（新建）”\“Project（工程）”\“PCB 工程（印制电路板文件）”命令，创建一个 PCB 项目文件，如图 4-24 所示。

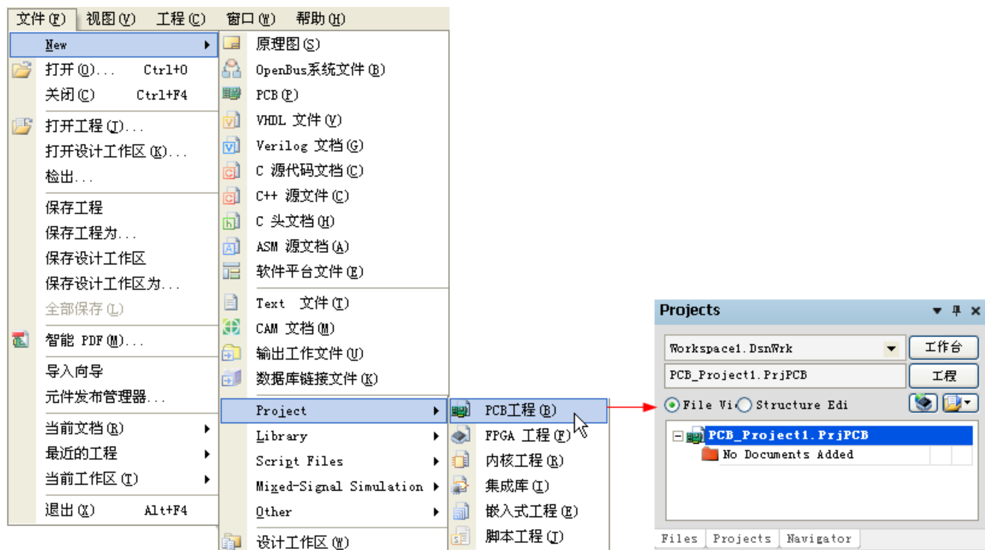



图 4-24 新建 PCB 项目文件

Step2 单击菜单栏中的“文件”\“保存工程为”命令，将项目另存为“音量控制电路.PrjPcb”。

2. 创建和设置原理图图样

Step1 在“Projects（工程）”面板的“音量控制电路.PrjPcb”项目文件上右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“给工程添加新的”\“Schematic（原理图）”命令，新建一个原理图文件，并自动切换到原理图编辑环境。

Step2 用保存项目文件同样的方法，将该原理图文件另存为“音量控制电路原理图.SchDoc”。保存后，“Projects（工程）”面板中将显示出用户设置的名称。

Step3 设置电路原理图图样的属性。单击菜单栏中的“设计”\“文档选项”命令，系统弹出“文档选项”对话框，按照图 4-25 设置完成后，单击“确定”按钮。

Step4 设置图样的标题栏。单击菜单栏中的“设计”\“文档选项”命令，在弹出的“文档选项”对话框中，单击“参数”选项卡，出现标题栏设置选项。在“Address（地址）”选项中输入地址，在“Organization（机构）”选项中输入设计机构名称，在“Title（名称）”选项中输入原理图的名称。其他选项可以根据需要填写，如图 4-26 所示。

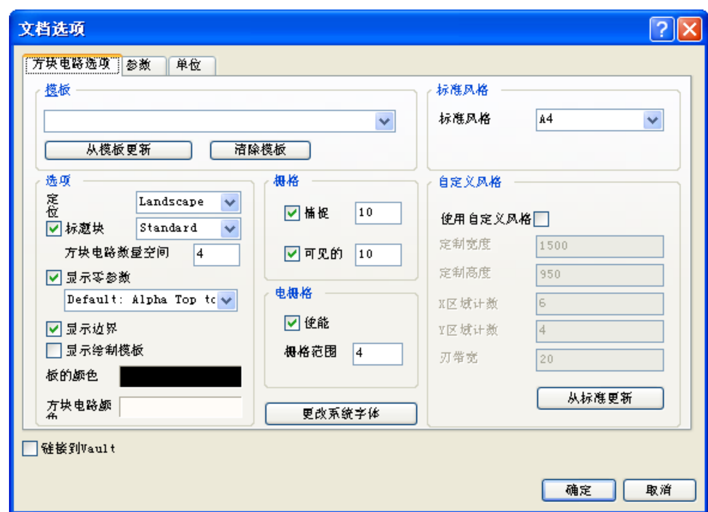



图 4-25 设置“文档选项”对话框

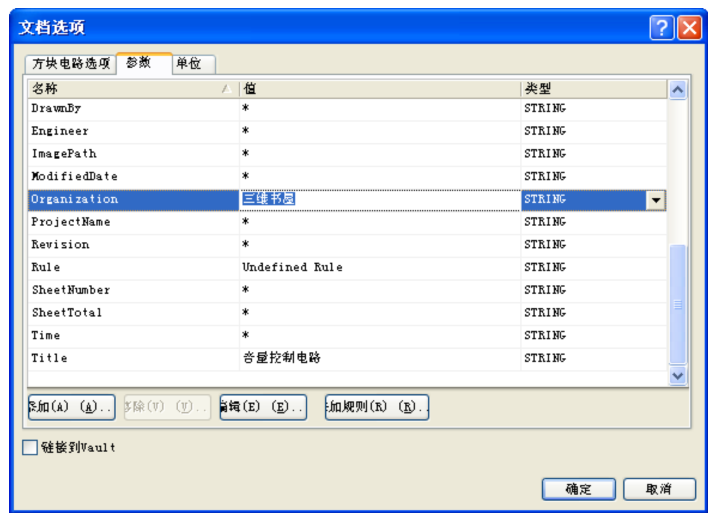



图 4-26 “Parameters”选项卡

3. 元件的放置和属性设置

Step1 激活“库”面板，在库文件列表中选择名为“Miscellaneous Devices.IntLib”的库文件，然后在过滤条件文本框中输入关键字“CAP”，筛选出包含该关键字的所有元件，选择其中名为“Cap Pol2”的电解电容，如图 4-27 所示。

Step2 单击“Place CapPol2（放置 CapPol2）”按钮，然后将光标移动到工作窗口，进入如图 4-28 所示的电解电容放置状态。

Step3 按 Tab 键，在弹出的“Properties for Schematic Component in Sheet（原理图元件属性）”对话框中修改元件属性。将“Designator（指示符）”设为 C1，将“Comment（注释）”设为不可见，然后把“Value（值）”改为 100μF，参数设置如图 4-29 所示。

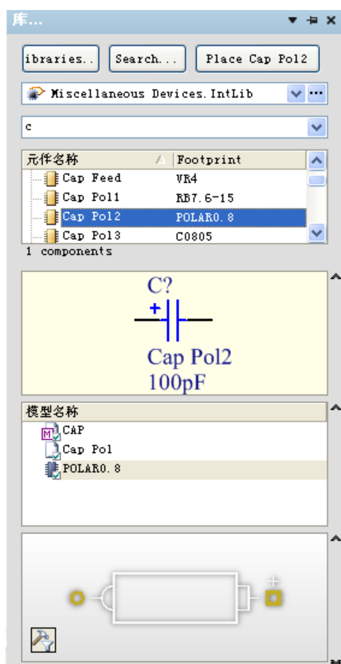


图 4-27　选择元件

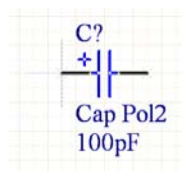



图 4-28　电解电容放置状态

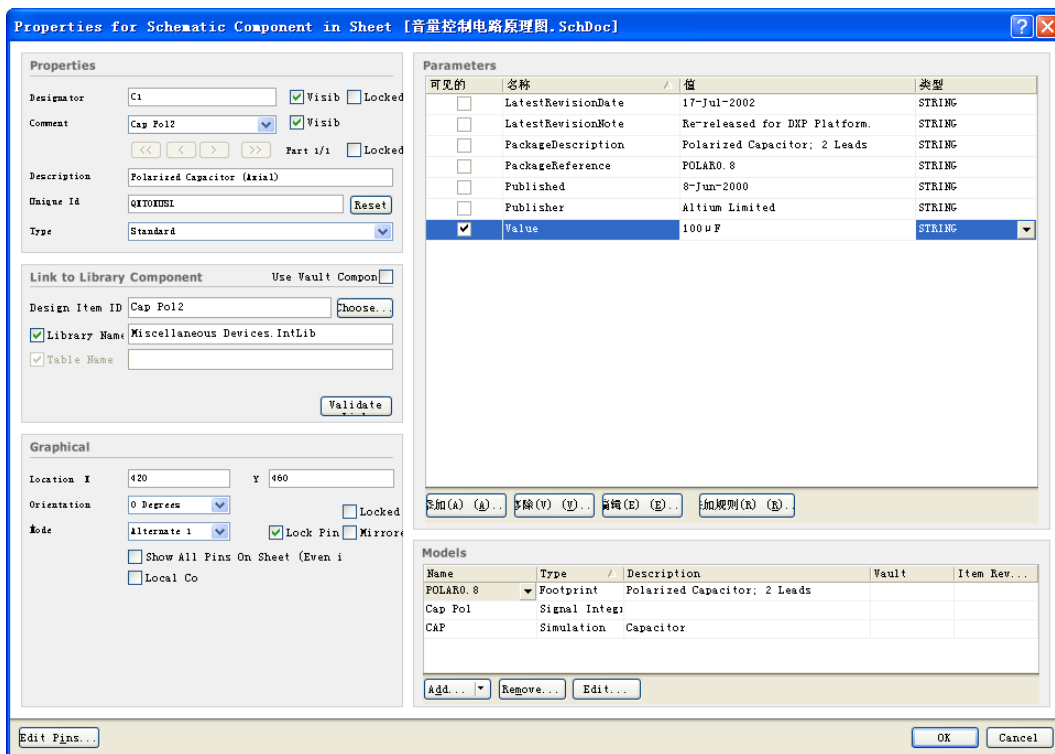


图 4-29　设置电解电容 C1 的属性

Step4 按 Space 键，翻转电容至如图 4-30 所示的角度。

Step5 在适当的位置单击，即可在原理图中放置电容 C1，同时编号为 C2 的电容自动附在光标上，如图 4-31 所示。

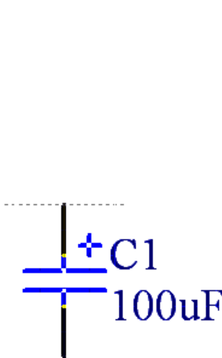



图 4-30　翻转电容

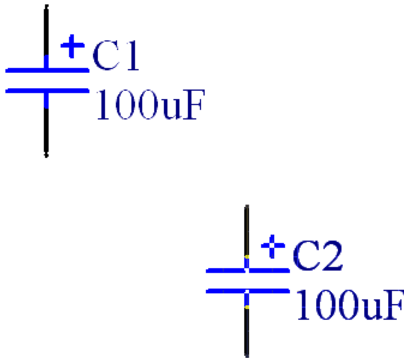



图 4-31　放置电容 C2

Step6 设置电容属性。再次按 Tab 键，修改电容的属性，如图 4-32 所示。

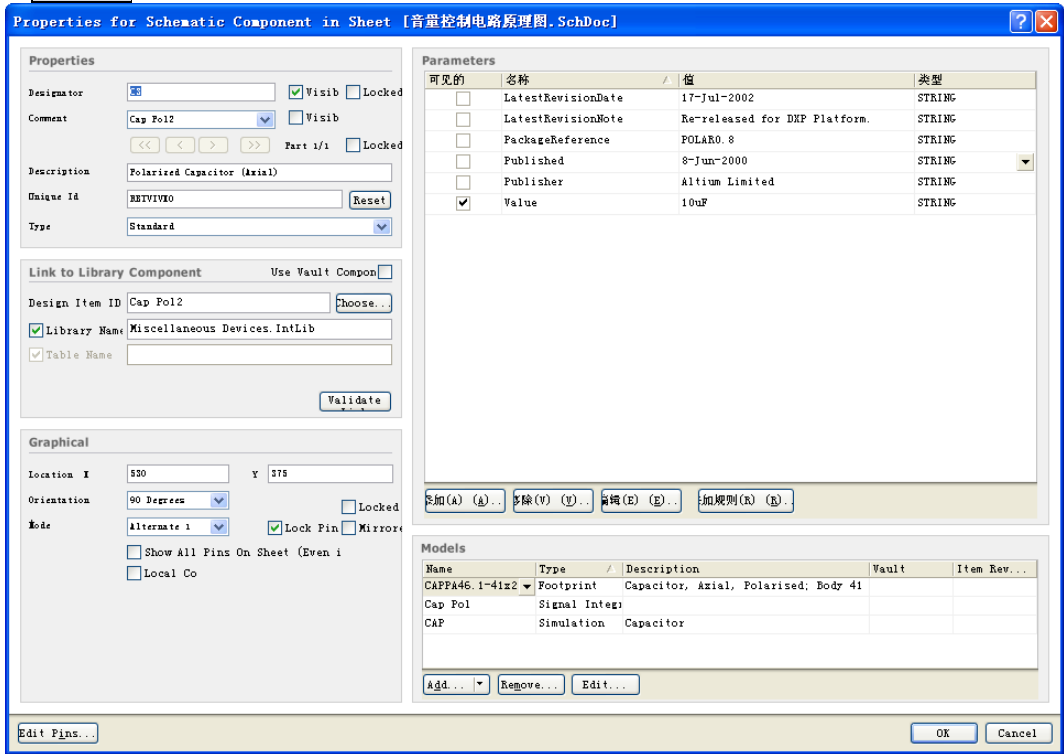


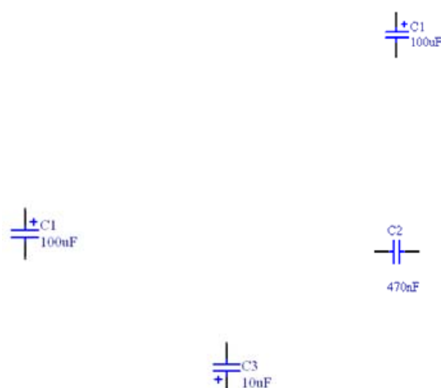

图 4-32　设置电容属性

Step7 按 Space 键翻转电容，并在如图 4-33 所示的位置单击放置该电容。

本例中有 10 个电容，其中，C1、C3、C8、C9、C10 为电解电容，容量分别为 100μF、10μF、470μF、10μF、10μF；而 C2、C4、C5、C6、C7 为普通电容，容量分别为 470nF、

10nF、100nF、6.8nF、33nF。

Step8 参照上面的数据，放置好其他电容，如图 4-34 所示。



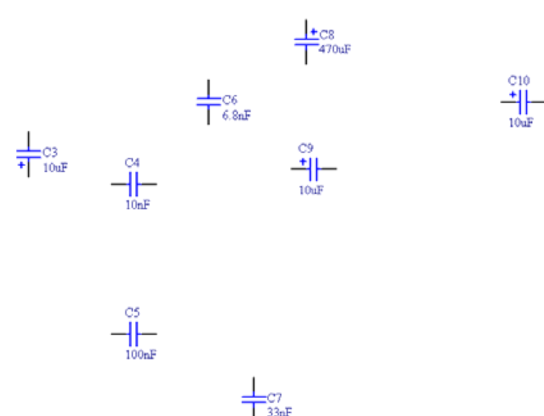




图 4-33　放置电容 C3　　　　图 4-34　放置其他电容

Step9 放置电阻。本例中用到 12 个电阻，为 R1～R12，阻值分别为 560kΩ、470kΩ、2.2kΩ、1kΩ、12kΩ、1.2kΩ、3.3kΩ、8.2kΩ、2.7kΩ、10kΩ、2.2kΩ、560Ω。与放置电容相似，将这些电阻放置在原理图中合适的位置上，如图 4-35 所示。

Step10 采用同样的方法选择和放置两个电位器，如图 4-36 所示。

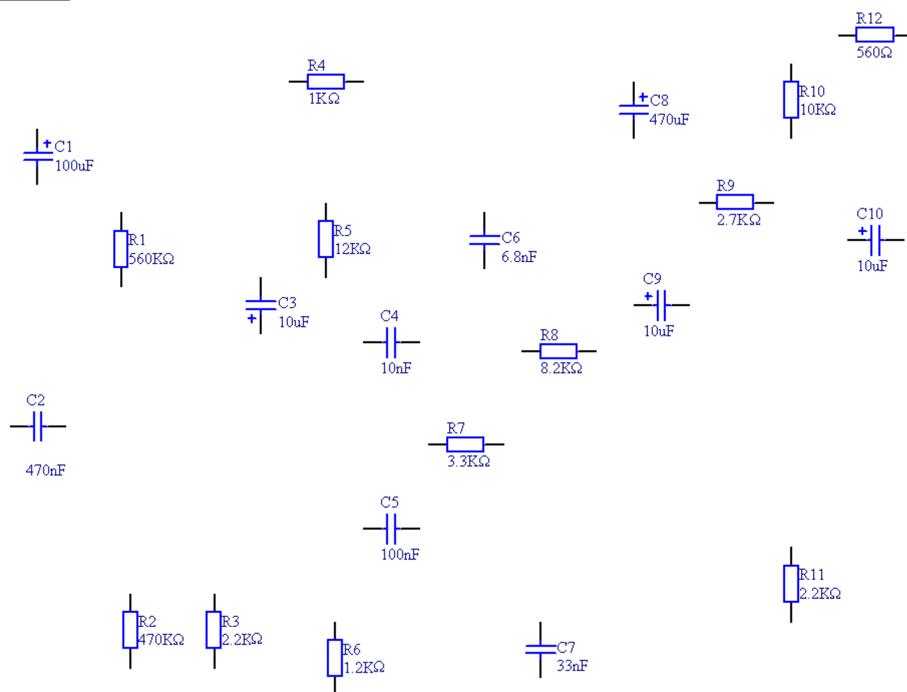



图 4-35　放置电阻

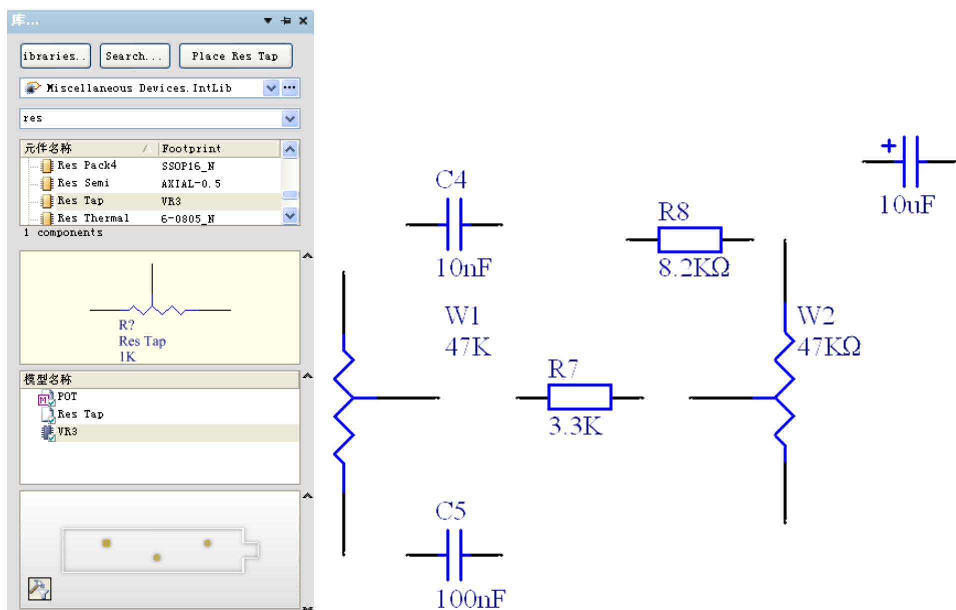


图 4-36 放置电位器

Step11 以同样的方法选择和放置两个三极管 Q1 和 Q2，放置在 C3 和 C9 附近，如图 4-37 所示。

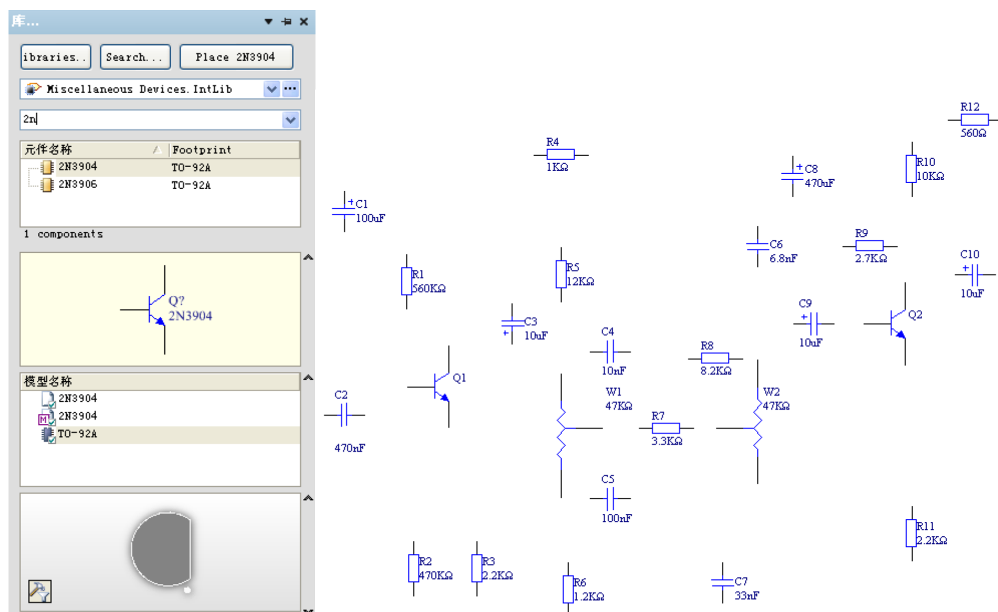


图 4-37 放置三极管

4. 布局元件

元件放置完成后，需要适当地进行调整，将它们分别排列在原理图中最恰当的位置，这样有助于后续的设计。

Step1 单击选中元件，按住鼠标左键进行拖动。将元件移至合适的位置后释放鼠标左键，即可对其完成移动操作。

在移动对象时，可以通过按 Page Up 或 Page Down 键来缩放视图，以便观察细节。

Step2 选中元件的标注部分，按住鼠标左键进行拖动，可以移动元件标注的位置。

Step3 采用同样的方法调整所有的元件，效果如图 4-38 所示。

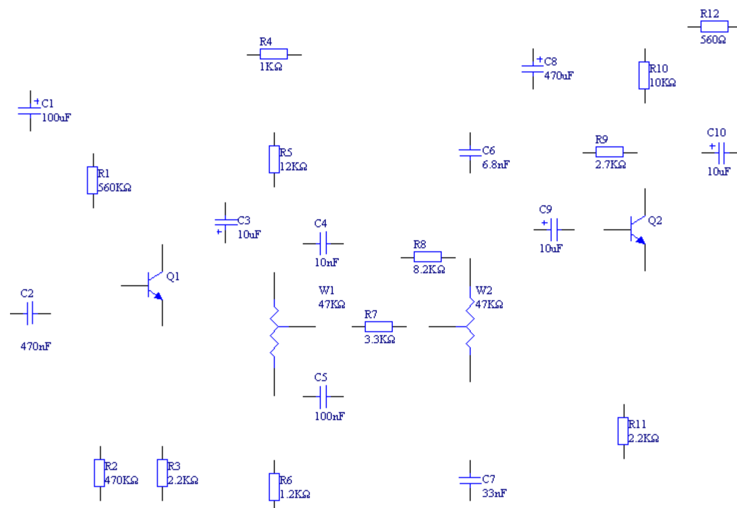



图 4-38　元件调整效果

5. 原理图连线

Step1 单击“连线”工具栏中的 （放置线）按钮进入导线放置状态，将光标移动到某个元件的引脚上（如 R1），十字光标的交叉符号变为红色，单击即可确定导线的一个端点。

Step2 将光标移动到 R2 处，再次出现红色交叉符号后单击，即可放置一段导线。

Step3 采用同样的方法放置其他导线，如图 4-39 所示。

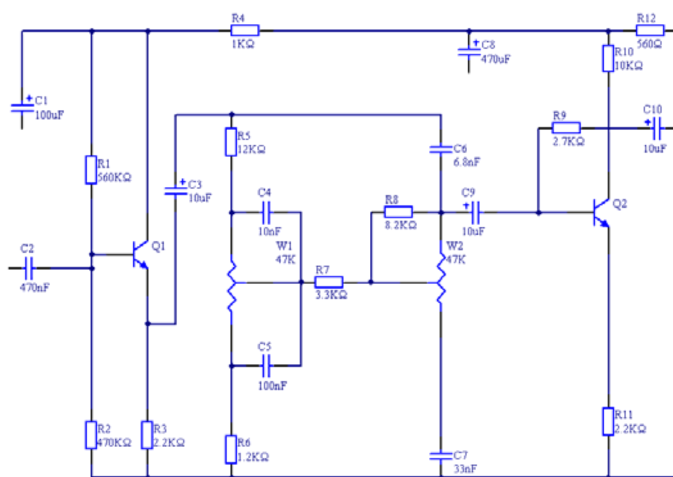



图 4-39　放置导线

Step4 单击“线”工具栏中的⏚（GND 端口）按钮，进入接地放置状态。按 Tab 键，在弹出的“电源端口”对话框中，将“类型”设置为“Power Ground（接地）”，“网络”设置为“GND”，如图 4-40 所示。

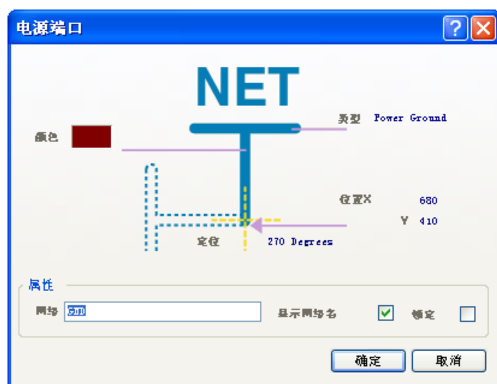



图 4-40 “电源端口”对话框

Step5 移动光标到 C8 下方的引脚处，单击即可放置一个接地符号。

Step6 采用同样的方法放置其他接地符号，如图 4-41 所示。

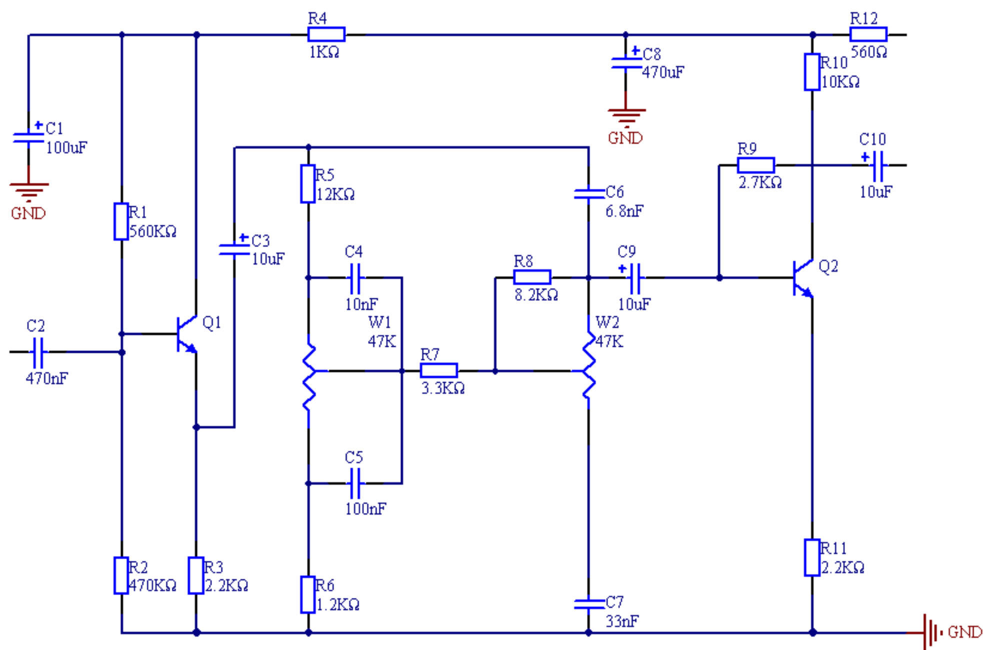



图 4-41 放置接地符号

Step7 在“实用”工具栏中选择放置“＋12V”电源工具，按 Tab 键，在出现的“电源端口”对话框中，将“类型”设置为“Bar”，“网络”设置为“＋12”，如图 4-42 所示。

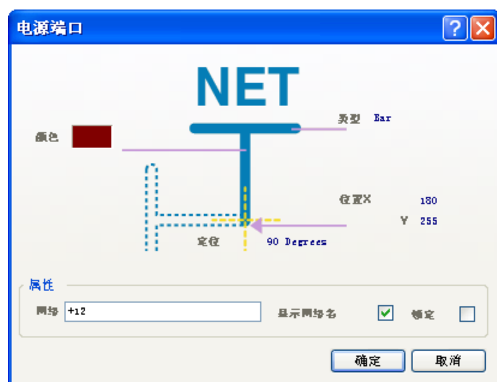



图 4-42　放置电源

Step8 在原理图中放置电源并检查和整理连接导线，布线后的原理图如图 4-43 所示。

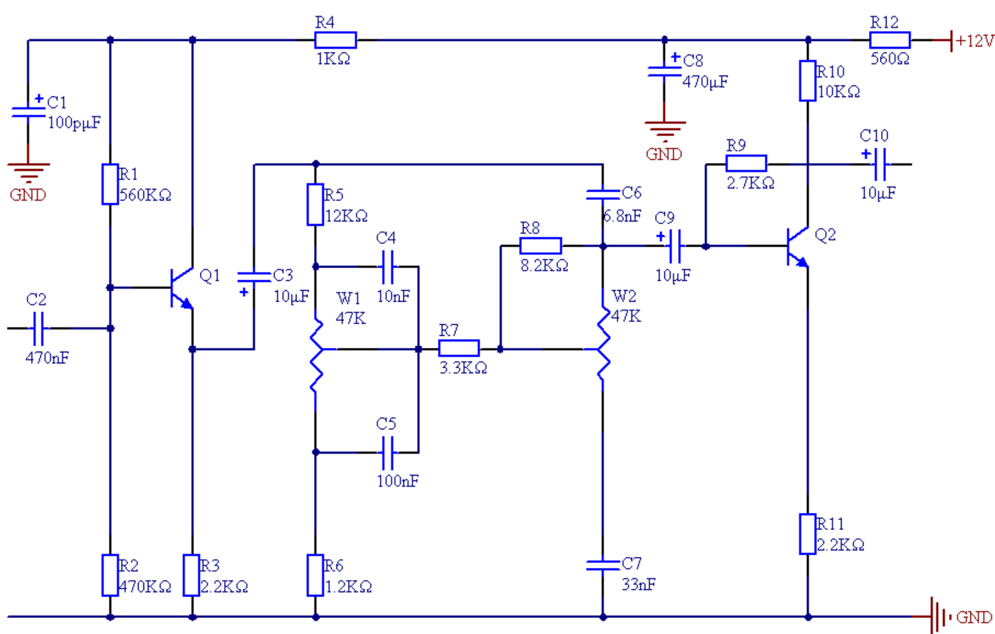



图 4-43　布线后的原理图

6. 报表输出

Step1 单击菜单栏中的“设计”\“工程的网络表”\“Protel（生成项目网络表）”命令，系统自动生成了当前项目的网络表文件“音量控制电路原理图.NET”，并存放在当前项目的“Generated \Netlist Files”文件夹中。双击打开该原理图的网络表文件“音量控制电路原理图.NET”，结果如图 4-44 所示。该网络表是一个简单的 ASCII 码文本文件，由多行文本组成。内容分成了两大部分，一部分是元件信息，另一部分是网络信息。系统会自动生成当前的原理图的网络表文件相同。

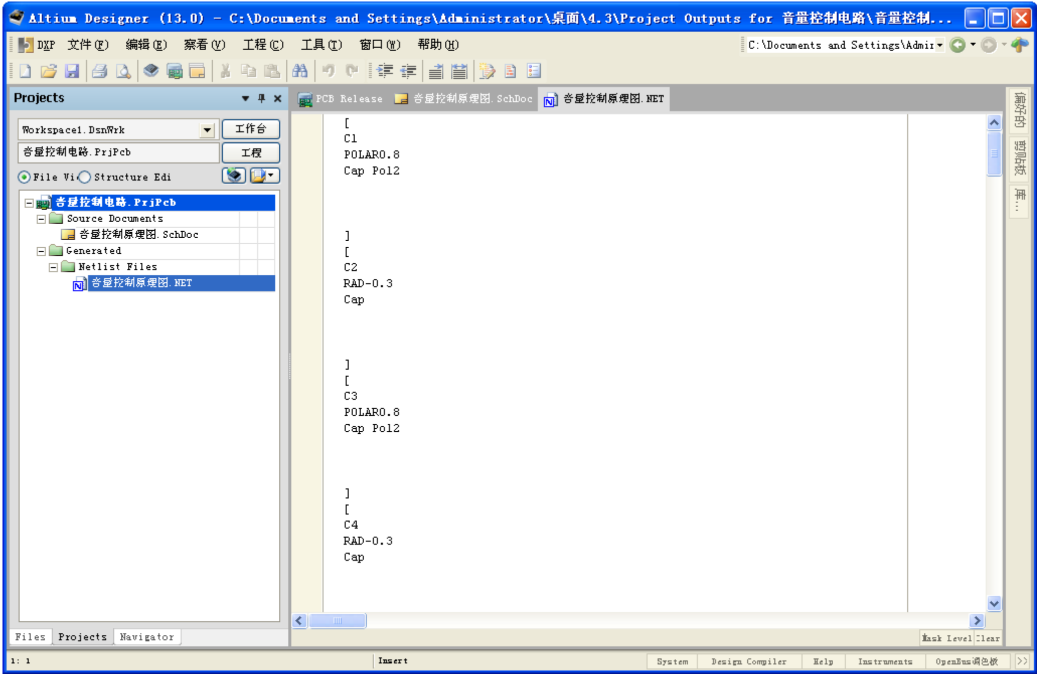



图 4-44　打开原理图的网络表文件

Step2 在只有一个原理图的情况下，该网络表的组成形式与上述基于整个原理图的网络表是同一个，在此不再重复。

Step3 单击菜单栏中的“报告”\“Bill of Materials（元件清单）”命令，系统将弹出相应的元件报表对话框，如图 4-45 所示。

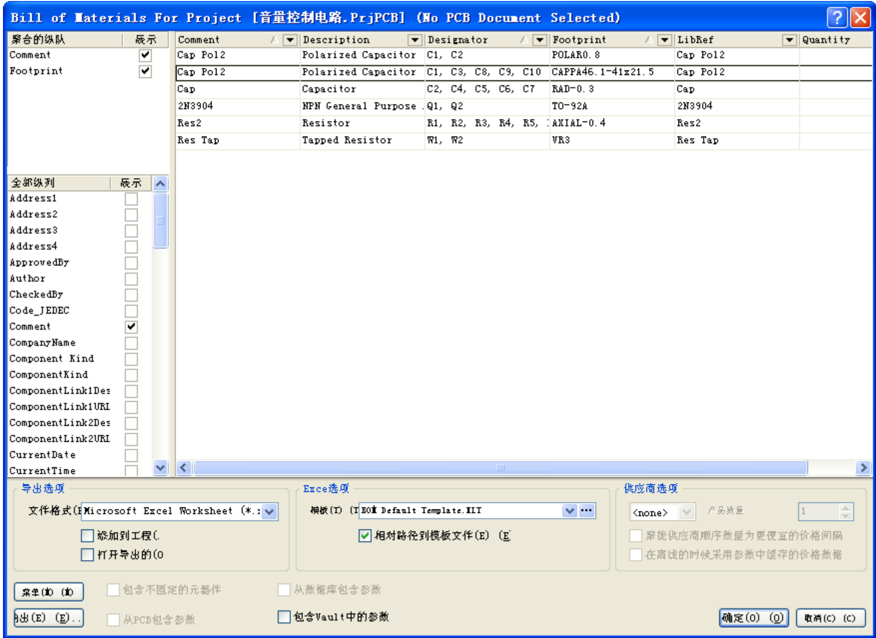



图 4-45　设置元件报表

Step4 单击“菜单”按钮，在“菜单”菜单中单击“报告”命令，系统将弹出“报告预览”对话框，如图 4-46 所示。

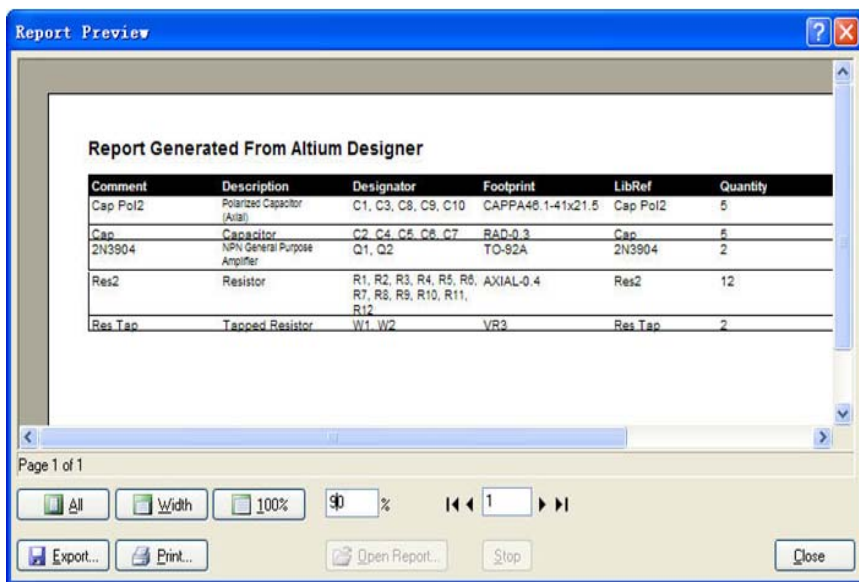



图 4-46 “报告预览”对话框

Step5 单击“输出”按钮，可以将该报表进行保存，默认文件名为“音量控制电路.xls”，是一个 Excel 文件；单击“打印”按钮，可以将该报表进行打印输出。

Step6 在元件报表对话框中，单击 ... 按钮，在“X:\Program Files\Altium Designer 13\Templates”目录下，选择系统自带的元件报表模板文件“BOM Default Template.XLT”。

Step7 单击“打开”按钮，返回元件报表对话框。单击“确定”按钮，退出对话框。

7. 编译并保存项目

Step1 单击菜单栏中的“工程”\“Compile PCB Projects（编译 PCB 项目）”命令，系统将自动生成信息报告，并在“Messages（信息）”面板中显示出来。如图 4-47 所示。项目完成结果如图 4-48 所示。本例没有出现任何错误信息，表明电气检查通过。

Step2 保存项目，完成音量控制电路原理图的设计。

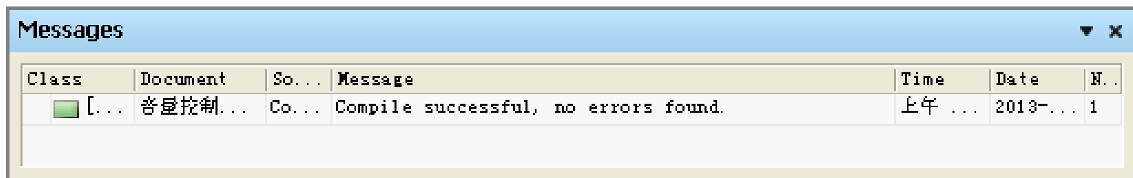
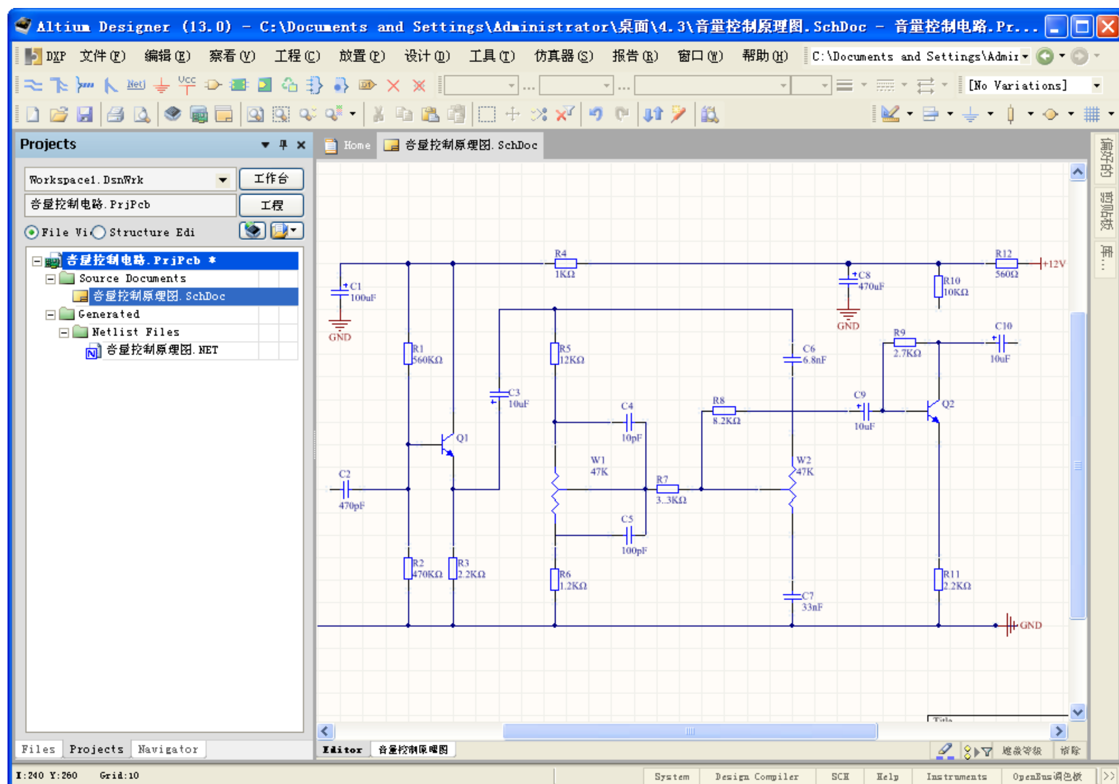



图 4-47 “Messages（信息）”面板



Altium Designer (13.0) - C:\Documents and Settings\Administrator\桌面\4.3\音量控制原理图.SchDoc - 音量控制电路.Pr...
DXP 文件(F) 编辑(E) 察看(V) 工程(C) 放置(P) 设计(D) 工具(T) 仿真器(S) 报告(R) 窗口(W) 帮助(H)
[No Variations]
Projects
Workspace1.DsnWrk
工作台
音量控制电路.PrjPcb
工程
File Vi
Structure Edi
音量控制电路.PrjPcb *
Source Documents
音量控制原理图.SchDoc
Generated
Netlist Files
音量控制原理图.NET
Home
音量控制原理图.SchDoc
C1 100uF
GND
R4 1KΩ
C8 470uF
R10 10KΩ
R12 560Ω
+12V
R1 560KΩ
R5 12KΩ
C6 6.8nF
R9 2.7KΩ
C10 10uF
C3 10uF
C4 10pF
R8 8.2KΩ
C9 10uF
Q2
Q1
W1 47K
W2 47K
C2 470pF
R7 3.3KΩ
C5 100pF
R2 470KΩ
R3 2.2KΩ
R6 1.2KΩ
C7 33nF
R11 2.2KΩ
Files Projects Navigator
Editor 音量控制原理图
X:240 Y:260 Grid:10
System Design Compiler SCH Help Instruments OpenBus调色板


图 4-48　项目完成结果

# 第5章

# 层次结构原理图的设计

前面介绍了一般电路原理图的基本设计方法，即将整个系统的电路绘制在一张原理图上。这种方法适用于规模较小、逻辑结构较简单的系统电路设计。而对于大规模的电路系统来说，由于所包含的电气对象数量繁多，结构关系复杂，很难在一张原理图上完整地绘出，即使勉强绘制出来，其错综复杂的结构也非常不利于电路的阅读、分析与检查。

因此，对于大规模的复杂系统，应该采用另外一种设计方法，即电路的模块化设计方法。将整体系统按照功能分解成若干个电路模块，每个电路模块具有特定的独立功能及相对独立性，可以由不同的设计者分别绘制在不同的原理图上。这样可以使电路结构更清晰，同时也便于设计团队共同参与设计，加快工作进程。

## 知识点

- 层次结构电路原理图的概念
- 层次结构电路原理图的设计方法
- 层次结构电路原理图之间的切换

# 5.1　层次结构原理图的基本结构和组成

层次结构电路原理图的设计理念是将实际的总体电路进行模块划分，划分的原则是每一个电路模块都应具有明确的功能特征和相对独立的结构，而且还要有简单、统一的接口，便于模块间的连接。

针对每一个具体的电路模块，可以分别绘制相应的电路原理图，该原理图一般称之为子原理图，而各个电路模块之间的连接关系则采用一个顶层原理图来表示。顶层原理图主要由若干个原理图符号即图样符号组成，用来表示各个电路模块之间的系统连接关系，描述了整体电路的功能结构。这样，把整个系统电路分解成顶层原理图和若干个子原理图以分别进行设计。

Altium Designer 13 系统提供的层次原理图设计功能非常强大，能够实现多层的层次化设计功能。用户可以将整个电路系统划分为若干个子系统，每一个子系统可以划分为若干个功能模块，而每一个功能模块还可以再细分为若干个基本的小模块，这样依次细分下去，就把整个系统划分为多个层次，电路设计化繁为简。

一个两层结构原理图的基本结构如图 5-1 所示，由顶层原理图和子原理图共同组成，这就是所谓的层次化结构。

其中，子原理图用来描述某一电路模块具体功能的普通电路原理图，只不过增加了一些输入输出端口，作为与上层原理图进行电气连接的接口。普通电路原理图的绘制方法在前面已经学习过，主要由各种具体的元件、导线等构成。

顶层电路图即母图的主要构成元素不再是具体的元件，而是代表子原理图的图样符号，如图 5-2 所示是一个采用层次结构设计的顶层原理图。

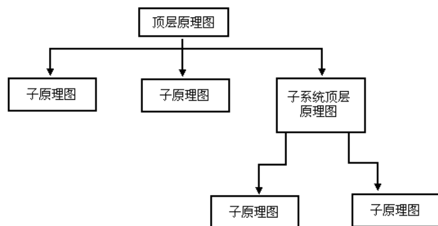



图 5-1　两层结构原理图的基本结构

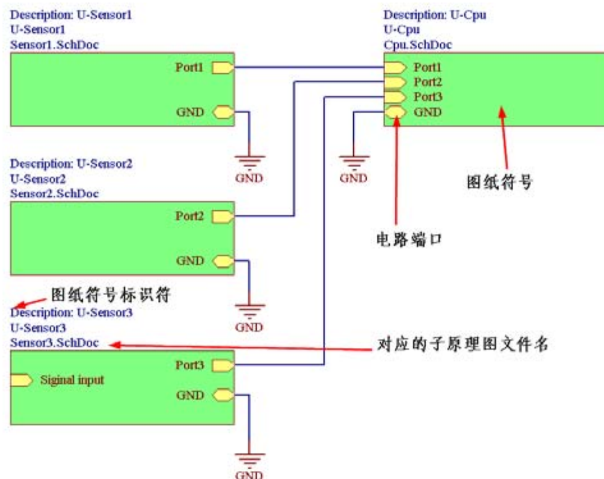



图 5-2　顶层原理图的基本组成

该顶层原理图主要由 4 个图样符号组成，每一个图样符号都代表一个相应的子原理图文

件。在图样符号的内部给出了一个或多个表示连接关系的电路端口，对于这些端口，在子原理图中都有相同名称的输入、输出端口与之相对应，以便建立起不同层次间的信号通道。

图样符号之间也是借助于电路端口进行连接的，也可以使用导线或总线完成连接。此外，同一个项目的所有电路原理图（包括顶层原理图和子原理图）中，相同名称的输入、输出端口和电路端口之间，在电气意义上都是相互连通的。

## 5.2 层次结构原理图的设计方法

基于上述设计理念，层次电路原理图设计的具体实现方法有两种，一种是自上而下的设计方式，另一种是自下而上的设计方式。

自上而下的设计方法是在绘制电路原理图之前，要求设计者对这个设计有一个整体的把握。把整个电路设计分成多个模块，确定每个模块的设计内容，然后对每一模块进行详细的设计。在C语言中，这种设计方法被称为自顶向下，逐步细化。该设计方法要求设计者在绘制原理图之前就对系统有比较深入的了解，对电路的模块划分比较清楚。

自下而上的设计方法是设计者先绘制子原理图，根据子原理图生成原理图符号，进而生成上层原理图，最后完成整个设计。这种方法比较适用于对整个设计不是非常熟悉的用户，这也是一种适合初学者选择的设计方法。

### 5.2.1 自上而下的层次原理图设计

本节以“基于通用串行数据总线USB的数据采集系统”的电路设计为例，详细介绍自上而下层次电路的具体设计过程。

采用层次电路的设计方法，将实际的总体电路按照电路模块的划分原则划分为4个电路模块，即CPU模块和三路传感器模块Sensor1、Sensor2、Sensor3。首先绘制出层次原理图中的顶层原理图，然后再分别绘制出每一电路模块的具体原理图。

自上而下绘制层次原理图的操作步骤如下：

Step1 启动 Altium Designer 13， 打开“Files（文件）”面板，在“新的”选项栏中单击“Blank Project（PCB）（空白项目文件）”选项，则在“Projects（工程）”面板中出现了新建的项目文件，另存为“USB采集系统.PrjPCB”。

Step2 在项目文件“USB采集系统.PrjPCB”上右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“给工程添加新的”→“Schematic（原理图）”命令，在该项目文件中新建一个电路原理图文件，另存为“Mother.SchDoc”，并完成图样相关参数的设置。

Step3 单击菜单栏中的“放置”→“图表符”命令，或者单击“连线”工具栏中的（放置图表符）按钮，光标将变为十字形状，并带有一个原理图符号标志。

Step4 移动光标到需要放置原理图符号的地方，单击确定原理图符号的一个顶点，移动光标到合适的位置再一次单击确定其对角顶点，即可完成原理图符号的放置。

Step5 光标仍处于放置原理图符号的状态，重复上一步操作即可放置其他原理图符

号。右击或者按 Esc 键即可退出操作。

Step6 设置原理图符号的属性。双击需要设置属性的原理图符号或在绘制状态时按 Tab 键，系统将弹出相应的“方块符号”对话框，如图 5-3 所示。原理图符号属性的主要参数含义如下：

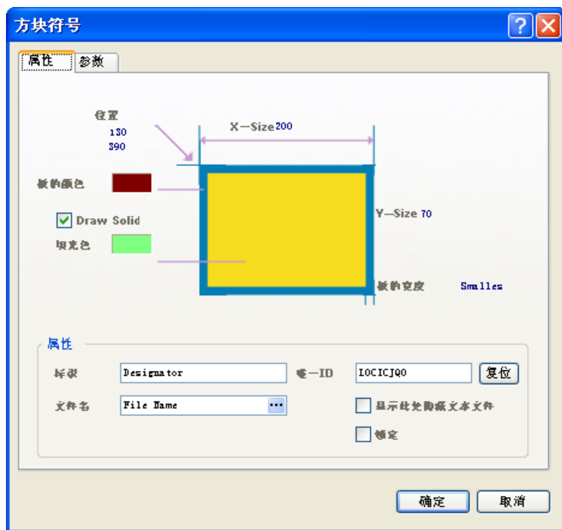



图 5-3　“方块符号”对话框

- 位置：表示原理图符号在原理图上的 X 轴和 Y 轴坐标，可以输入数值。
- X-Size（宽度），Y-Size（高度）：表示原理图符号的宽度和高度，可以输入数值。
- 板的颜色：用于设置原理图符号边框的颜色。
- 填充色：用于设置原理图符号的填充颜色。
- “Draw Solid（是否填充）”复选框：勾选该复选框，则原理图符号将以 Fill Color（填充颜色）中的颜色填充多边形。
- 板的宽度：用于设置原理图符号的边框粗细，包括 Smallest（最小）、Small（小）、Medium（中等）和 Large（大）4 种线宽。
- “标识”文本框：用于输入相应原理图符号的名称。所起作用与普通电路原理图中的元件标识符相似，是层次电路图中用来表示原理图符号的惟一标志，不同的原理图符号应该有不同的标识符。在这里输入“U-Sensor1”。
- “文件名”文本框：用于输入该原理图符号所代表的下层子原理图的文件名。在这里，我们输入“Sensor1.SchDoc”。
- “显示此隐藏的文本文件”复选框：用于确定是显示还是隐藏原理图符号的文本域。

Step7 在“图表符”对话框中，单击“参数”选项卡，如图 5-4 所示，用户可以在“参数”选项卡中执行添加、删除和编辑原理图符号等其他有关参数的操作。单击“添加”按钮，系统将弹出如图 5-5 所示的“参数属性”对话框。在该对话框中，可以设置追加的参数名称、数值等属性。




图 5-4　“参数”选项卡

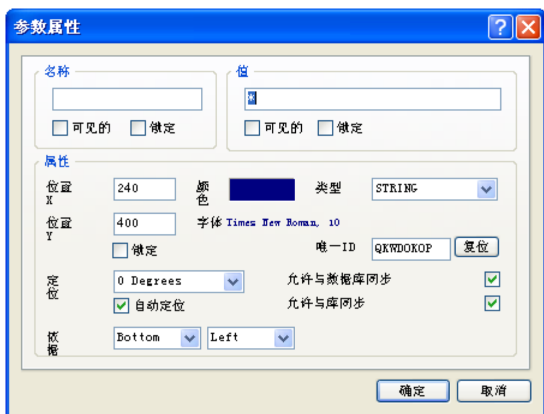



图 5-5　“参数属性”对话框

Step8 在“名称”文本框中输入“Description”，在“值”文本框中输入“U-Sensor1”，勾选下面的“可见的”复选框。单击“确定”按钮，关闭该对话框。单击“图表符”对话框中的“确定”按钮，关闭该对话框。按照上述方法放置另外 3 个原理图符号 U-Sensor2、U-Sensor3 和 U-Cpu，并设置好相应的属性，如图 5-6 所示。

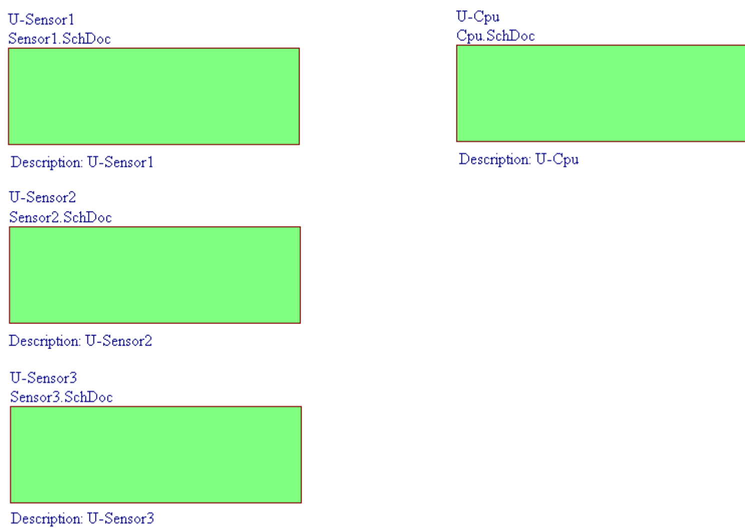



图 5-6　设置好的 4 个原理图符号

Step9 单击菜单栏中的“放置”→“添加图样入口”命令，或者单击“连线”工具栏中的（放置图样入口）按钮，光标将变为十字形状。

Step10 移动光标到原理图符号内部，选择放置电路端口的位置，单击，会出现一个随光标移动的电路端口，但其只能在原理图符号内部的边框上移动，在适当的位置再次单击即可完成电路端口的放置。此时，光标仍处于放置电路端口的状态，继续放置其他的电路端

口。右击或者按 Esc 键即可退出操作。

Step11 设置电路端口的属性。根据层次电路图的设计要求，在顶层原理图中，每一个原理图符号上的所有电路端口都应该与其所代表的子原理图上的一个电路输入、输出端口相对应，包括端口名称及接口形式等。因此，需要对电路端口的属性加以设置。双击需要设置属性的电路端口或在绘制状态时按 Tab 键，系统将弹出相应的“方块入口”对话框，如图 5-7 所示。电路端口属性的主要参数含义如下：

- 填充色：设置电路端口内部的填充颜色。
- 文本颜色：设置电路端口标注文本的颜色。
- 板的颜色：设置电路端口边框的颜色。
- 边：设置电路端口在原理图符号中的大致方位，包括 Top（顶部）、Left（左侧）、Bottom（底部）和 Right（右侧）4 个选项。
- 形状：设置电路端口的形状。这里设置为“Right”。
- “I/O Type（I/O 类型）”下拉列表框：用于设置电路的端口属性，包括 Unspecified（未指明）、Output（输出）、Input（输入）和 Bidirectional（双向）4 个选项。“I/O Type（I/O 类型）”下拉列表框通常与电路端口外形的设置一一对应，这样有利于直观理解。端口的属性是由 I/O 类型决定的，这是电路端口最重要的属性。这里将端口属性设置为“Output”（输出）。
- “名称”下拉列表框：设置电路端口的名称，应该与层次原理图子图中的端口名称对应，只有这样才能完成层次原理图的电气连接。这里设置为“Port1”。
- “位置”文本框：设置电路端口的位置。该文本框的内容将根据端口移动而自动设置，用户不需要进行更改。

属性设置完毕后单击“确定”按钮关闭该对话框。

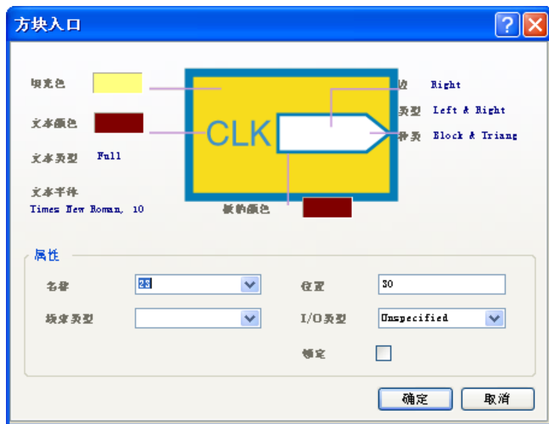



图 5-7 “方块入口”对话框

Step12 按照同样的方法，把所有的电路端口放在合适的位置处，并一一完成属性设置。

Step13 使用导线或总线把每一个原理图符号上的相应电路端口连接起来，并放置好接地符号，完成顶层原理图的绘制，如图 5-8 所示。

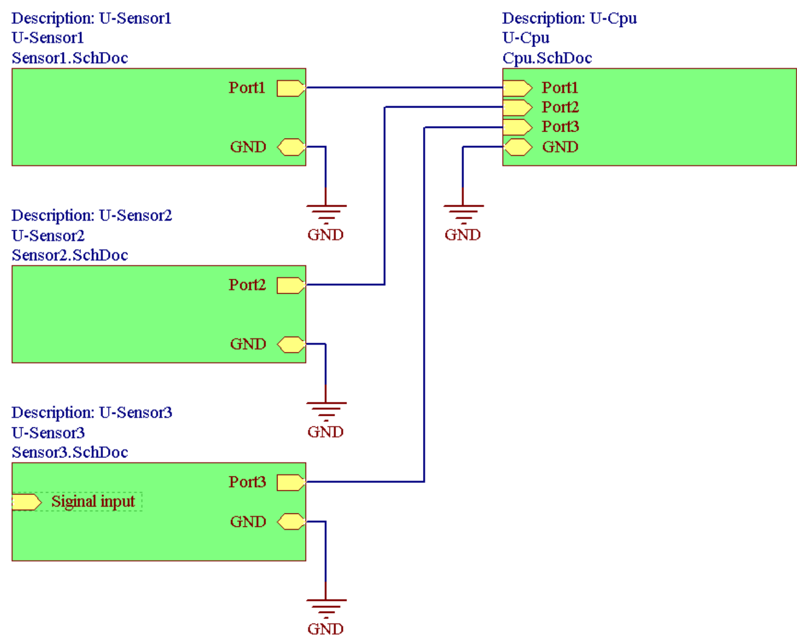



图 5-8 顶层原理图

根据顶层原理图中的原理图符号，把与之相对应的子原理图分别绘制出来，这一过程就是使用原理图符号来建立子原理图的过程。

Step14 单击菜单栏中的“设计”→“产生图样”命令，此时光标将变为十字形状。移动光标到原理图符号“U-Cpu”内部，单击，系统自动生成一个新的原理图文件，名称为“Cpu.SchDoc”，与相应的原理图符号所代表的子原理图文件名一致，如图 5-9 所示。此时可以看到，在该原理图中已经自动放置好了与 4 个电路端口方向一致的输入、输出端口。

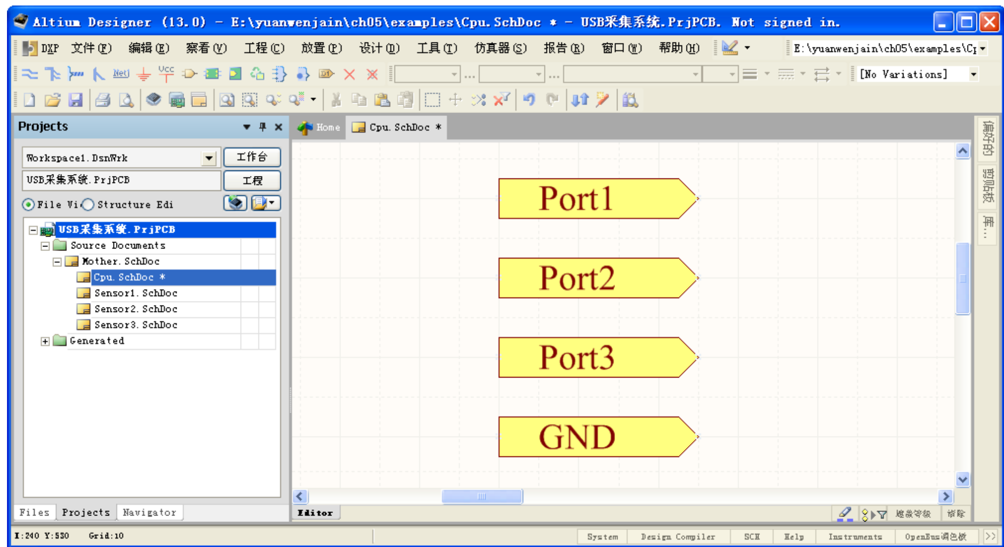



图 5-9 由原理图符号“U-Cpu”建立的子原理图

Step15 使用普通电路原理图的绘制方法，放置各种所需的元件并进行电气连接，完成“Cpu”子原理图的绘制，如图 5-10 所示。

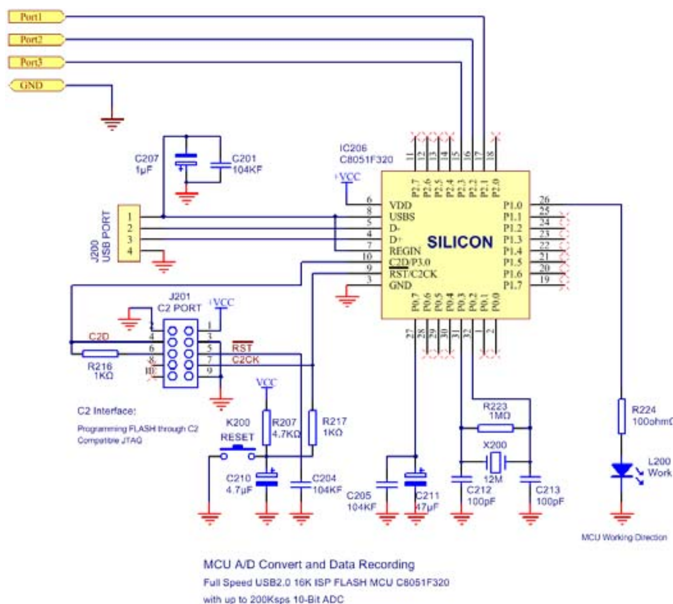



图 5-10　子原理图“Cpu.SchDoc”

Step16 使用同样的方法，用顶层原理图中的另外 3 个原理图符号“U-Sensor1”、“U-Sensor2”、“U-Sensor3”建立与其相对应的 3 个子原理图“Sensor1.SchDoc”、“Sensor2.SchDoc”、“Sensor3.SchDoc”，并且分别绘制出来。

采用自上而下的层次电路图设计方法，完成了整个 USB 数据采集系统的电路原理图绘制。

## 5.2.2　自下而上的层次原理图设计

对于一个功能明确、结构清晰的电路系统来说，采用层次电路设计方法，使用自上而下的设计流程，能够清晰地表达出设计者的设计理念。但在有些情况下，特别是在电路的模块化设计过程中，不同电路模块的不同组合，会形成功能完全不同的电路系统。用户可以根据自己的具体设计需要，选择若干个已有的电路模块，组合产生一个符合设计要求的完整电路系统。此时，该电路系统可以使用自下而上的层次电路设计流程来完成。

下面还是以“基于通用串行数据总线 USB 的数据采集系统”电路设计为例，介绍自下而上层次电路的具体设计过程。自下而上绘制层次原理图的操作步骤如下：

Step1 启动 Altium Designer 13，新建项目文件。打开“Files（文件）”面板，在“新的”选项栏中单击“Blank Project（PCB）（空白项目文件）”选项，则在“Projects（工程）”面板中出现了新建的项目文件，另存为“USB 采集系统.PrjPCB”。

Step2 新建原理图文件作为子原理图。在项目文件“USB 采集系统.PrjPCB”上右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“给工程添加新的”→“Schematic（原理图）”命令，在该项目文件中新建原理图文件，另存为“Cpu.SchDoc”，并完成图样相关参数的设置。采用同样的

方法建立原理图文件“Sensor1.SchDoc”、“Sensor2.SchDoc”和“Sensor3.SchDoc”。

Step3 绘制各个子原理图。根据每一模块的具体功能要求，绘制电路原理图。例如，CPU 模块主要完成主机与采集到的传感器信号之间的 USB 接口通信，这里使用带有 USB 接口的单片机“C8051F320”来完成。而三路传感器模块 Sensor1、Sensor2、Sensor3 则主要完成对三路传感器信号的放大和调制，具体绘制过程不再赘述。

Step4 放置各子原理图中的输入、输出端口。子原理图中的输入、输出端口是子原理图与顶层原理图之间进行电气连接的重要通道，应该根据具体设计要求进行放置。

例如，在原理图“Cpu.SchDoc”中，三路传感器信号分别通过单片机 P2 口的 3 个引脚 P2.1、P2.2、P2.3 输入到单片机中，是原理图“Cpu.SchDoc”与其他 3 个原理图之间的信号传递通道，所以在这 3 个引脚处放置了 3 个输入端口，名称分别为“Port1”、“Port2”、“Port3”。除此之外，还放置了一个共同的接地端口“GND”。放置的输入、输出电路端口电路原理图“Cpu.SchDoc”与图 5-10 完全相同。

同样，在子原理图“Sensor1.SchDoc”的在信号输出端放置一个输出端口“Port1”，在子原理图“Sensor2.SchDoc”的信号输出放置一个输出端口“Port2”，在子原理图“Sensor3.SchDoc”的信号输出端放置一个输出端口“Port3”，分别与子原理图“Cpu.SchDoc”中的 3 个输入端口相对应，并且都放置了共同的接地端口。移动光标到需要放置原理图符号的地方，单击确定原理图符号的一个顶点，移动光标到合适的位置再一次单击确定其对角顶点，即可完成原理图符号的放置。放置了输入、输出电路端口的 3 个子原理图“Sensor1.SchDoc”、“Sensor2.SchDoc”和“Sensor3.SchDoc”分别如图 5-11～图 5-13 所示。

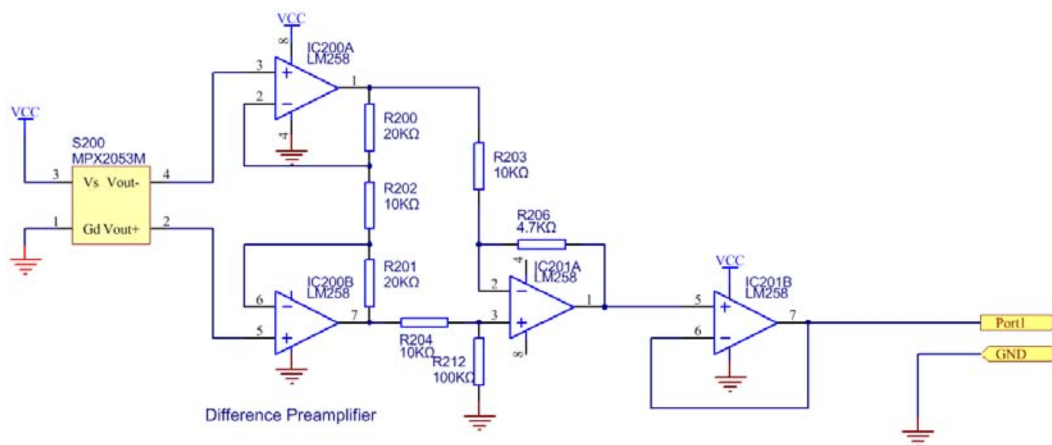



图 5-11　子原理图“Sensor1.SchDoc”

Step5 在项目“USB 采集系统.PrjPCB”中新建一个原理图文件“Mother1.PrjPCB”，以便进行顶层原理图的绘制。

Step6 打开原理图文件“Mother1.PrjPCB”，单击菜单栏中的“设计”→“HDL 文件或原理图生成图样符”命令，系统将弹出如图 5-14 所示的“Choose Document to Place（选择文件放置）”对话框。

在该对话框中，系统列出了同一项目中除当前原理图外的所有原理图文件，用户可以选择其中的任何一个原理图来建立原理图符号。例如，这里我们选中“Cpu.SchDoc”，单击“OK”

（确定）按钮，关闭该对话框。

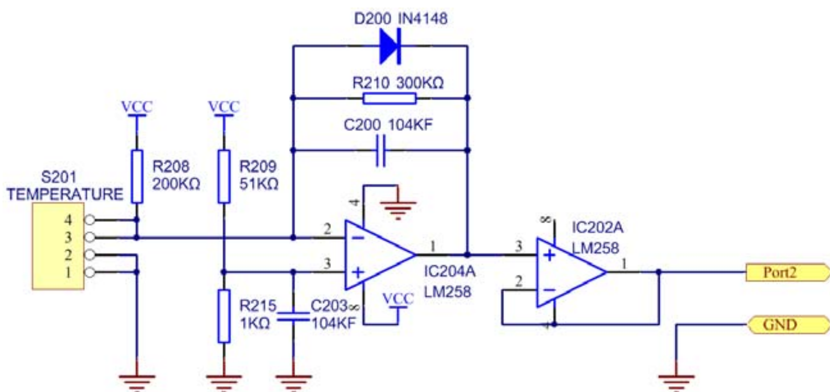



图 5-12　子原理图“Sensor2.SchDoc”

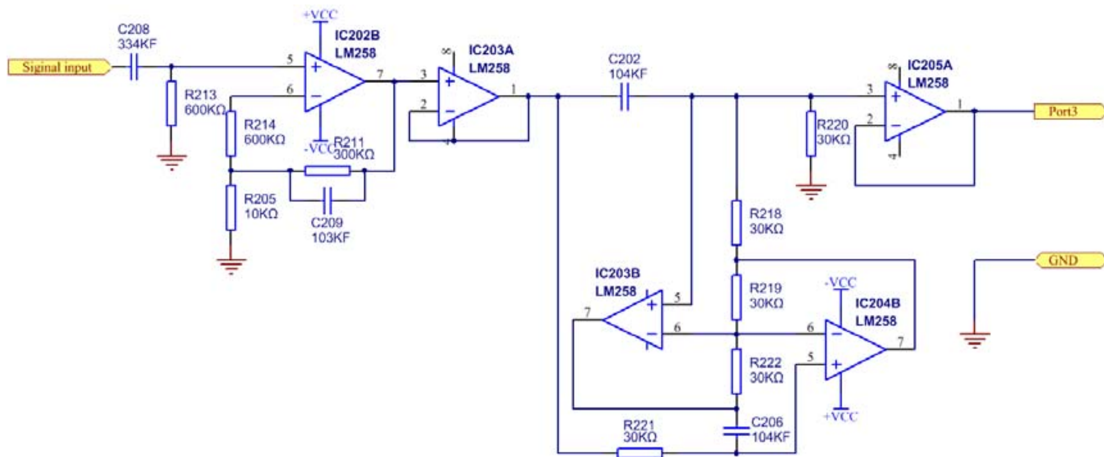
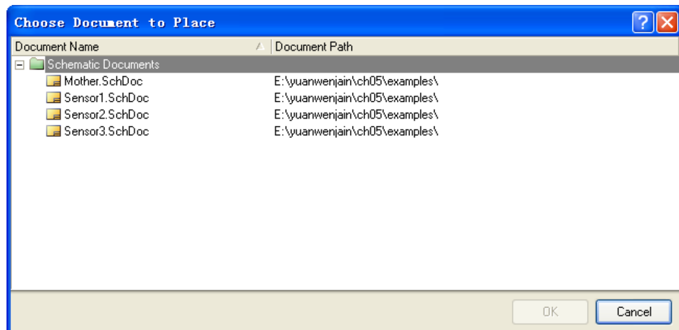



图 5-13　子原理图“Sensor3.SchDoc”

Step7　此时光标变成十字形状，并带有一个原理图符号的虚影。选择适当的位置，将该原理图符号放置在顶层原理图中，如图 5-15 所示。该原理图符号的标识符为“U-Cpu”，边缘已经放置了 4 个电路端口，方向与相应的子原理图中输入、输出端口一致。



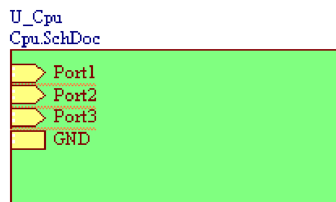




图 5-14　“Choose Document to Place”对话框　　　图 5-15　放置 U_Cpu 原理图符号

Step8 按照同样的操作方法，由 3 个子原理图“Sensor1. SchDoc”、“Sensor2. SchDoc”和“Sensor3. SchDoc”可以在顶层原理图中分别建立 3 个原理图符号“U-Sensor1”、“U-Sensor2”和“U-Sensor3”，如图 5-16 所示。

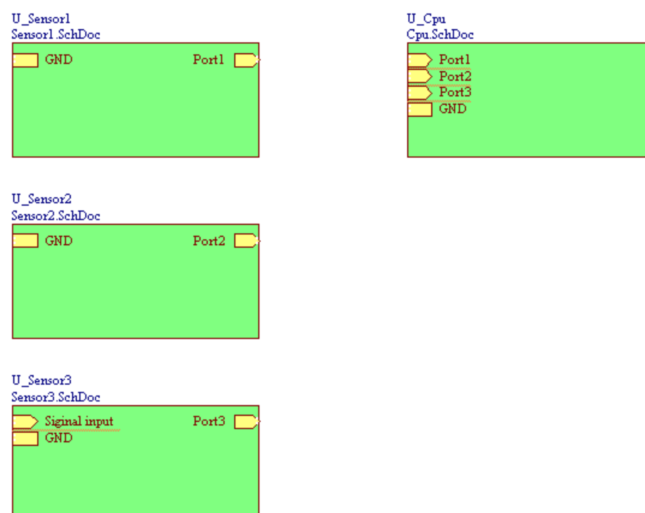



图 5-16　顶层原理图符号

Step9 设置原理图符号和电路端口的属性。由系统自动生成的原理图符号不一定完全符合我们的设计要求，很多时候还需要进行编辑，如原理图符号的形状、大小、电路端口的位置要有利于布线连接，电路端口的属性需要重新设置等。

Step10 用导线或总线将原理图符号通过电路端口连接起来，并放置接地符号，完成顶层原理图的绘制，结果和图 5-8 完全一致。

## 5.3　层次结构原理图之间的切换

在绘制完成的层次电路原理图中，一般都包含顶层原理图和多张子原理图。用户在编辑时，常常需要在这些图中来回切换查看，以便了解完整的电路结构。对于层次较少的层次原理图，由于结构简单，直接在“Projects（工程）”面板中单击相应原理图文件的图标即可进行切换查看。但是对于包含较多层次的原理图，结构十分复杂，单纯通过“Projects（工程）”面板来切换就很容易出错。在 Altium Designer 13 系统中，提供了层次原理图切换的专用命令，以帮助用户在复杂的层次原理图之间方便地进行切换，实现多张原理图的同步查看和编辑。

### 5.3.1　由顶层原理图中的原理图符号切换到相应的子原理图

由顶层原理图中的原理图符号切换到相应的子原理图的操作步骤如下：

Step1 打开“Projects（工程）”面板，选中项目“USB 采集系统. PrjPCB”，单击菜单栏中的“工程”→“Compile PCB Project USB 采集系统. PrjPCB”命令，完成对该项目的编

译。

Step2 打开“Navigator（导航）”面板，可以看到在面板上显示了该项目的编译信息，其中包括原理图的层次结构，如图 5-17 所示。

Step3 打开顶层原理图“Mother.SchDoc”，单击菜单栏中的“工具”→“ 上/下层次”命令，或者单击“原理图标准”工具栏中的（上/下层次）按钮，此时光标变为十字形状。移动光标到与欲查看的子原理图相对应的原理图符号处，放在任何一个电路端口上。例如，在这里我们要查看子原理图“Sensor2.SchDoc”，把光标放在原理图符号“U-Sensor2”中的一个电路端口“Port2”上即可。

Step4 单击该电路端口，子原理图“Sensor2.SchDoc”就出现在编辑窗口中，并且具有相同名称的输出端口“Port2”处于高亮显示状态，如图 5-18 所示。

右击退出切换状态，完成了由原理图符号到子原理图的切换，用户可以对该子原理图进行查看或编辑。用同样的方法，可以完成其他几个子原理图的切换。

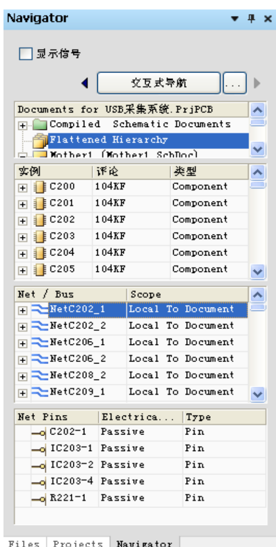



图 5-17 “Navigator”面板

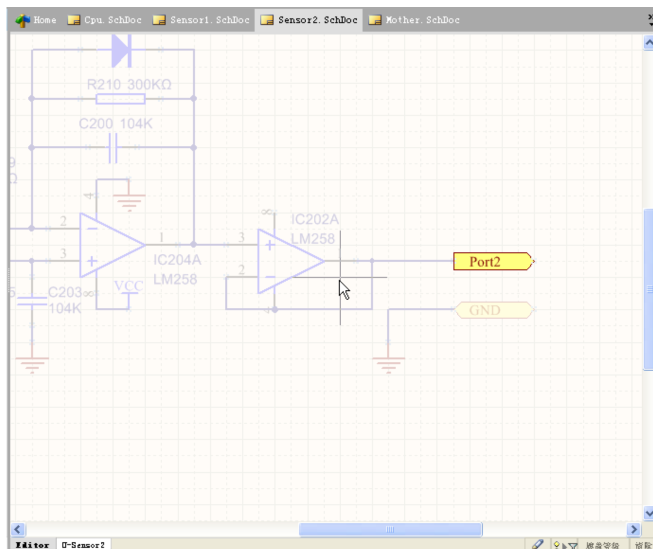



图 5-18 切换到相应子原理图

## 5.3.2 由子原理图切换到顶层原理图

由子原理图切换到顶层原理图的操作步骤如下：

Step1 打开任意一个子原理图，单击菜单栏中的“工具”→“上/下层次”命令，或者单击“原理图标准”工具栏中的（上/下层次）按钮，此时光标变为十字形，移动光标到任意一个输入/输出端口处，如图 5-19 所示。在这里，我们打开子原理图“Sensor3.SchDoc”，把光标置于接地端口“GND”处。

Step2 单击，顶层原理图“Mother.SchDoc”就出现在编辑窗口中。并且，在代表子原理图“Sensor3. SchDoc”的原理图符号中，具有相同名称的接地端口“GND”处于高亮显示状态。右击退出切换状态，完成了由子原理图到顶层原理图的切换。此时，用户可以对顶

层原理图进行查看或编辑。

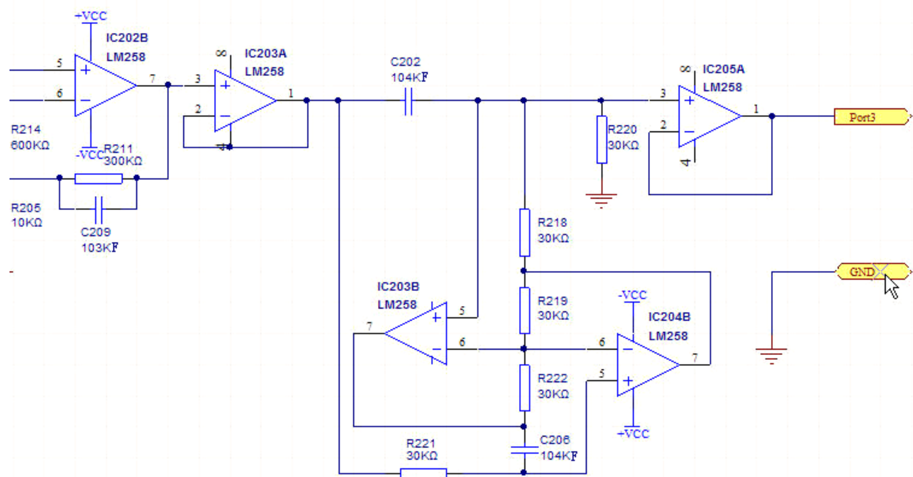



图 5-19　选择子原理图中的任意输入输出端口

## 5.4　层次设计表

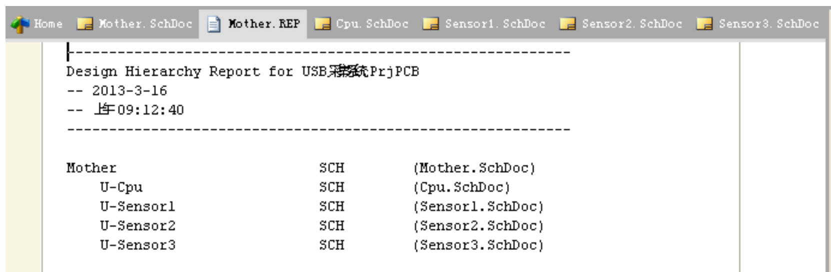
通常设计的层次原理图层次较少，结构也比较简单。但是对于多层次的层次电路原理图，其结构关系却是相当复杂的，用户不容易看懂。因此，系统提供了一种层次设计表作为用户查看复杂层次原理图的辅助工具。借助层次设计表，用户可以清晰地了解层次原理图的层次结构关系，进一步明确层次电路图的设计内容。生成层次设计表的主要操作步骤如下：

Step1　编译整个项目。前面已经对项目“USB 采集系统.PrjPCB”进行了编译。

Step2　单击菜单栏中的“报告”→“Report Project Hierarchy（项目层次报告）”命令，生成有关该项目的层次设计表。

Step3　打开“Projects（工程）”面板，可以看到，该层次设计表被添加在该项目下的“Generated\Text Documents\”文件夹中，是一个与项目文件同名，后缀为“*.REP”的文本文件。

Step4　双击该层次设计表文件，则系统转换到文本编辑器界面，可以查看该层次设计表。生成的层次设计表如图 5-20 所示。




```
------------------------------------------------------------
Design Hierarchy Report for USB采集系统.PrjPCB
-- 2013-3-16
-- 上午09:12:40
------------------------------------------------------------

Mother                        SCH        (Mother.SchDoc)
    U-Cpu                     SCH        (Cpu.SchDoc)
    U-Sensor1                 SCH        (Sensor1.SchDoc)
    U-Sensor2                 SCH        (Sensor2.SchDoc)
    U-Sensor3                 SCH        (Sensor3.SchDoc)
```

图 5-20　生成的层次设计表

从图 5-20 中可以看出，在生成的设计表中，使用缩进格式明确地列出了本项目中的各个原理图之间的层次关系。原理图文件名越靠左，说明该文件在层次电路图中的层次越高。

## 5.5 操作实例

下面通过实例详细介绍两种层次原理图的设计步骤。本实例参考随书光盘 “yuanwen jian\ch-05\5.5\4 Port Serial Interface\ 4 Port Serial Interface.SchDoc”项目文件。

### 1. 自上而下层次化原理图设计

Step1 建立工作环境

1）在 Altium Designer 13 主界面中，选择“文件”\“New”（新建）\“Schematic”（原理图）菜单命令。

2）右键选择“保存为”菜单命令将新建的原理图文件保存为“Top.SchDoc”。

Step2 执行“放置”\“图表符”菜单命令，或者单击工具栏中的按钮（放置图表符），鼠标将变为十字形状，并带有一个方块电路图标志。

Step3 移动鼠标到需要放置方块电路图的地方，单击鼠标左键确定方块电路图的一个顶点，移动鼠标到合适的位置再一次单击鼠标确定其对角顶点，即可完成方块电路图的放置。

此时，鼠标仍处于放置方块电路图的状态，重复操作即可放置其他的方块电路图。

单击鼠标右键或者按下 Esc 键便可退出操作。

Step4 设置方块电路图属性。此时放置的图样符号并没有具体的意义，需要进一步进行设置，包括其标识符、所表示的子原理图文件，以及一些相关的参数等。

1）执行“放置”\“添加图样入口”菜单命令，或者单击工具栏中的按钮（放置图样入口），鼠标将变为十字形状。

2） 移动鼠标到方块电路图内部，选择要放置的位置，单击鼠标左键，会出现一个电路端口随鼠标移动而移动，但只能在方块电路图内部的边框上移动，在适当的位置再一次单击鼠标即可完成电路端口的放置。

3）鼠标仍处于放置电路端口的状态，重复上述的操作即可放置其他的电路端口。

单击鼠标右键或者按下 Esc 键便可退出操作。

Step5 设置电路端口的属性

1） 双击需要设置属性的电路端口（或在绘制状态下按 Tab 键），系统将弹出相应的电路端口属性编辑对话框，对电路端口的属性加以设置。

2） 使用导线或总线把每一个方块电路图上的相应电路端口连接起来，并放置好接地符号，完成顶层原理图的绘制，如图 5-21 所示。

3）根据顶层原理图中的方块电路图，把与之相对应的子原理图分别绘制出来，这一过程就是使用方块电路图来建立子原理图的过程。

Step6 执行“设计”\“产生图样”菜单命令，这时鼠标将变为十字形状。移动鼠标到

上图左侧方块电路图内部，单击鼠标左键，系统自动生成一个新的原理图文件，名称为“ISA Bus Address Decoding.SchDoc”，与相应的方块电路图所代表的子原理图文件名一致，如图 5-22 所示。用户可以看到，在该原理图中，已经自动放置好了与 14 个电路端口方向一致的输入输出端口。

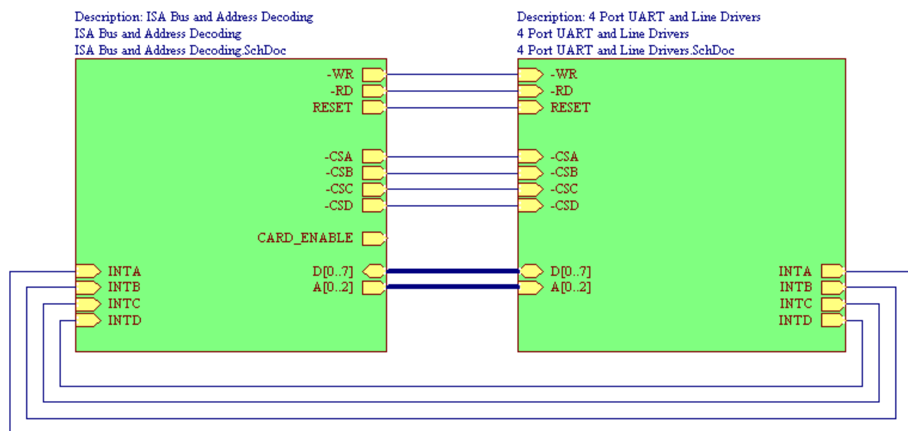



图 5-21　设计完成的顶层原理图




图 5-22　由方块电路图产生的子原理图

Step7 使用普通电路原理图的绘制方法，放置各种所需的元器件并进行电气连接，完成“ISA Bus Address Decoding.SchDoc”子原理图的绘制，如图 5-23 所示。

Step8 使用同样的方法，由顶层原理图中的另外 1 个方块电路图“4 Port UART and Line Drivers”建立对应的子原理图“4 Port UART and Line Drivers.SchDoc”，并且绘制出来。

这样就采用自上而下的层次电路图设计方法完成了整个系统的电路原理图绘制。

2. 自下而上层次化原理图设计

Step1 新建项目文件

1） 在 Altium Designer 13 主界面中，选择“文件” \“新建”\“Project（工程)”\ “PCB 工程”（印制电路板工程文件）菜单命令，选择“文件”\“New”（新建）\“Schematic”（原理图）菜单命令。

2）右键选择“保存工程为”菜单命令将新建的工程文件保存为“My job.PrjPCB”。然后

右键选择“保存为”菜单命令将新建的原理图文件保存为“ISA Bus Address Decoding. SchDoc”。

同样的方法建立原理图文件“4 Port UART and Line Drivers.SchDoc”。

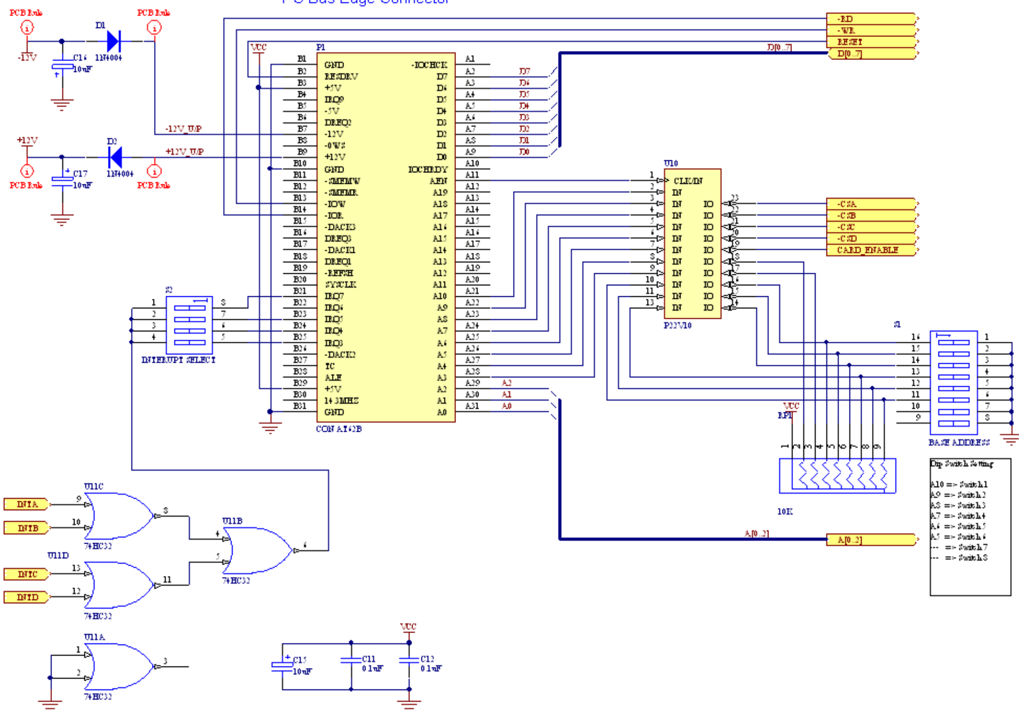



图 5-23 子原理图“ISA Bus Address Decoding.SchDoc”

Step2 绘制各个子原理图。根据每一模块的具体功能要求，绘制电路原理图。

Step3 放置各子原理图中的输入输出端口

1）子原理图中的输入输出端口是子原理图与顶层原理图之间进行电气连接的重要通道，应该根据具体设计要求加以放置。

2）放置了输入输出电路端口的 2 个子原理图“ISA Bus Address Decoding.SchDoc”和“4 Port UART and Line Drivers.SchDoc”，分别如图 5-23 和图 5-24 所示。

Step4 在项目“My job.PrjPCB”中新建一个原理图文件“Top1. SchDoc”，以便进行顶层原理图的绘制。

Step5 生成方块图

1）打开原理图文件“Top1. SchDoc”，执行“设计”\“HDL 文件或图样生成图表符”菜单命令，系统弹出如图 5-25 所示的选择文件放置对话框。

2）在该对话框中，系统列出了同一项目中除掉当前原理图外的所有原理图文件，用户可以选择其中的任何一个原理图来建立方块电路图。例如，这里我们选中“ISA Bus Address Decoding.SchDoc”。

3）鼠标变成十字形状，并带有一个方块电路图的虚影。选择适当的位置，单击鼠标左

键即可将该方块电路图放置在顶层原理图中。

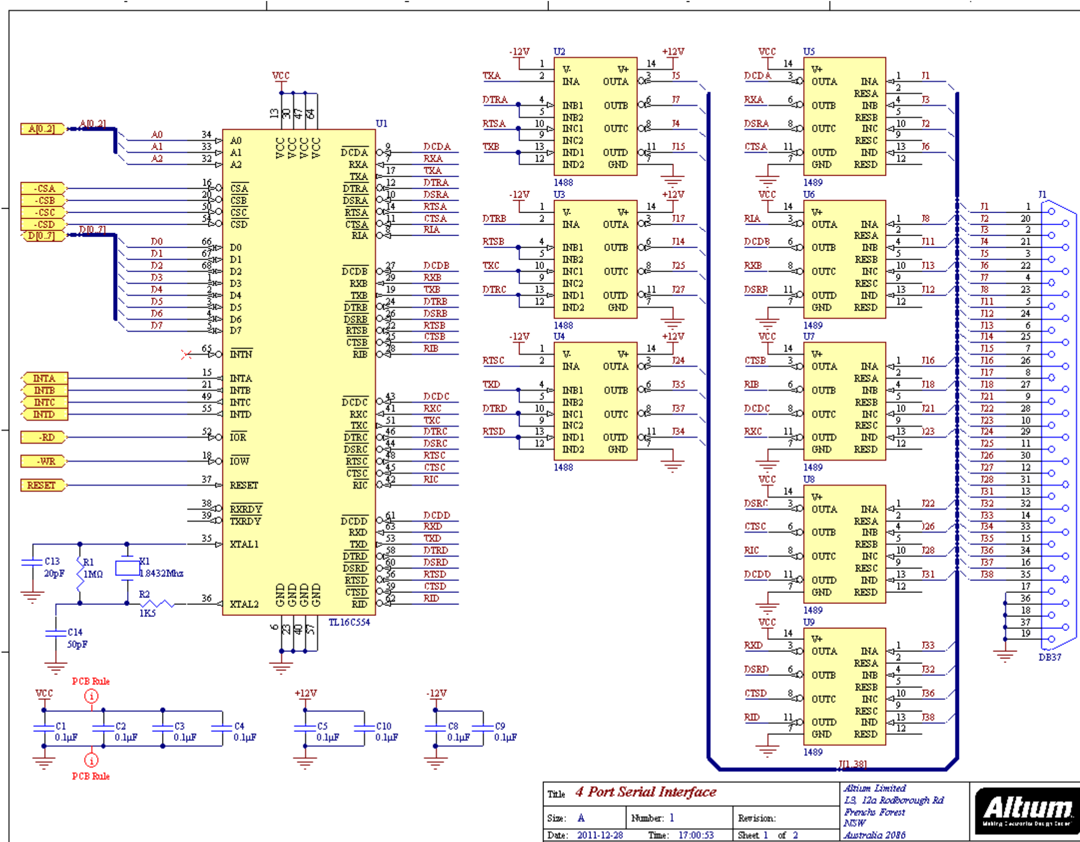



图 5-24　子原理图“4 Port UART and Line Drivers.SchDoc”

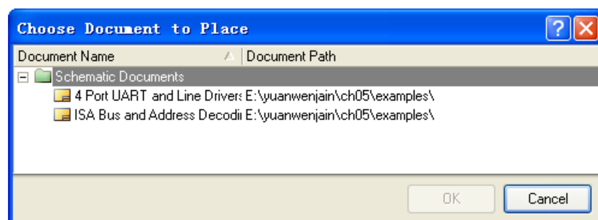



图 5-25　选择文件放置对话框

4）该方块电路图的标识符为“U_ISA Bus and Address Decoding”，边缘已经放置了 14 个电路端口，方向与相应的子原理图中输入输出端口一致。

5）按同样操作方法，由子原理图“4 Port UART and Line Drivers.SchDoc”可以在顶层原理图中建立方块电路图“U_4 Port UART and Line Drivers.SchDoc”，如图 5-26 所示。

Step6 设置方块电路图和电路端口的属性。有系统自动生成的方块电路图不一定完全符合设计要求，很多时候还需要加以编辑，包括方块电路图的形状、大小，电路端口的位置要利于布线连接，电路端口的属性需要重新设置等。

Step7 用导线或总线将方块电路图通过电路端口连接起来，完成顶层原理图的绘制，

结果和前面的图 5-21 完全一致。

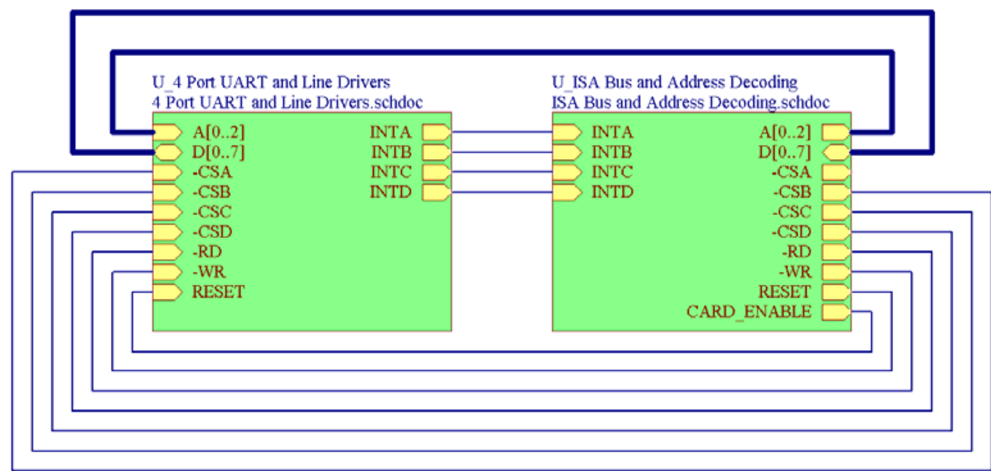



图 5-26　顶层原理图方块电路图

# 第 6 章 原理图编辑中的高级操作

Altium Designer 13 为原理图编辑提供了一些高级操作，掌握了这些高级操作，将大大提高电路设计的工作效率。

本章将详细介绍这些高级操作，包括工具的使用、元件编号管理、元件的过滤和原理图的查错与编译等。

知识点

- 原理图编辑环境中工具的使用
- 元件编号管理
- 元件的过滤
- 原理图的查错和编译

# 6.1　工具的使用

在原理图编辑器中，单击菜单栏中的“工具”命令，打开的“工具”菜单如图 6-1 所示。本节以“4 Port Serial Interface”项目文件为例来说明“工具”菜单的使用，。为了方便用户使用，将其保存在附带光盘文件夹“源文件\ch_06\example”中。

## 6.1.1　自动分配元件标号

“注解”命令用于自动分配元件标号。使用它不但可以减少手动分配元件标号的工作量，而且可以避免因手动分配而产生的错误。单击菜单栏中的“工具”→“注解”命令，弹出如图 6-2 所示的“注释”对话框。在该对话框中，可以设置原理图编号的一些参数和样式，使得在原理图自动命名时符合用户的要求。该对话框在前面和后面章节中均有介绍，这里不再赘述。

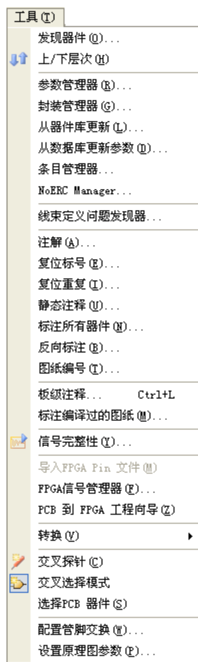






图 6-1　“工具”菜单　　　　　　　　　　图 6-2　“注释”对话框

## 6.1.2　回溯更新原理图元件标号

“反向标注”命令用于从印制电路回溯更新原理图元件标号。在设计印制电路时，有时可能需要对元件重新编号，为了保持原理图和 PCB 板图之间的一致性，可以使用该命令基于 PCB 板图来更新原理图中的元件标号。

单击菜单栏中的“工具”→“反向标注”命令，系统将弹出一个对话框，要求选择 WAS-IS 文件，用于从 PCB 文件更新原理图文件的元件标号。WAS-IS 文件是在 PCB 文档中执行“Reannotate（回溯标记）”命令后生成的文件。当选择 WAS-IS 文件后，系统将弹出一个消息框，报告所有将被重新命名的元件。当然，这时原理图中的元件名称并没有真正被更新。单击“确定”按钮，弹出“注释”对话框，在该对话框中可以预览系统推荐的重命名，然后再决定是否执行更新命令，创建新的 ECO 文件。

# 6.2 元件编号管理

对于元件较多的原理图，当设计完成后，往往会发现元件的编号变得很混乱或者有些元件还没有编号。用户可以逐个地手动更改这些编号，但是这样比较烦琐，而且容易出现错误。Altium Designer 13 提供了元件编号管理的功能。

1.“注释”对话框

单击菜单栏中的“工具”→“注解”命令，系统将弹出如图 6-2 所示“注释”对话框。在该对话框中，可以对元件进行重新编号。“注释”对话框分为两部分：左侧是“原理图注释配置”，右侧是“提议更改列表”。

（1）在左侧的“原理图注释配置”栏中列出了当前工程中的所有原理图文件。通过文件名前面的复选框，可以选择对哪些原理图进行重新编号。

在对话框左上角的“处理顺序”下拉列表框中列出了 4 种编号顺序，即 Up Then Across（先向上后左右）、Down Then Across（先向下后左右）、Across Then Up（先左右后向上）和 Across Then Down（先左右后向下）。

在“匹配选项”选项组中列出了元件的参数名称。通过勾选参数名前面的复选框，用户可以选择是否根据这些参数进行编号。

（2）在右侧的“当前的”栏中列出了当前的元件编号，在“被提及的”栏中列出了新的编号。

2. 重新编号的方法

对原理图中的元件进行重新编号的操作步骤如下：

Step1 选择要进行编号的原理图。

Step2 选择编号的顺序和参照的参数，在“注释”对话框中，单击“Reset All（全部重新编号）”按钮，对编号进行重置。系统将弹出“Information（信息）”对话框，提示用户编号发生了哪些变化。单击“OK（确定）”按钮，重置后，所有的元件编号将被消除，如图 6-3 所示。

Step3 单击“更新改变列表”按钮，重新编号，系统将弹出如图 6-4 所示的“Information”（信息）对话框，提示用户相对前一次状态和相对初始状态发生的改变。

Step4 在“提议更改列表”中可以查看重新编号后的变化。如果对这种编号满意，则单击“接受更改”按钮，在弹出的“工程更改顺序”对话框中更新修改，如图 6-5 所示。




图 6-3 重置后的元件编号

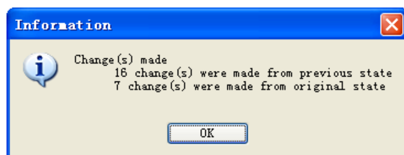



图 6-4 “Information”对话框

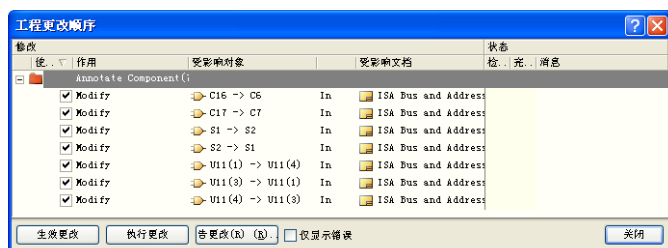



图 6-5 “工程更改顺序”对话框

Step5 在“工程更改顺序”对话框中，单击“生效更改”按钮，可以验证修改的可行性，如图 6-6 所示。




图 6-6 验证修改的可行性

Step6 单击“报告更改”按钮，系统将弹出如图 6-7 所示的“报告预览”对话框，在其中可以将修改后的报表输出。

Step7 单击“工程更改顺序”对话框中的“执行更改”按钮，即可执行修改，对元件的重新编号便完成了。

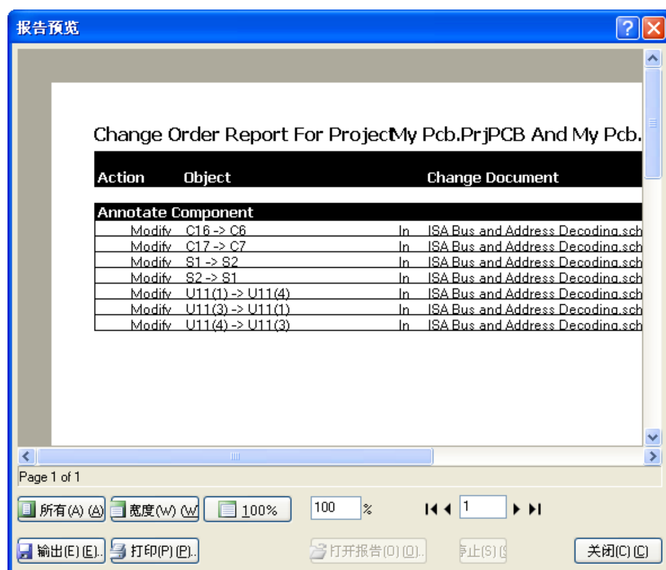



图 6-7 “报告预览”对话框

## 6.3 元件的过滤

在进行原理图或 PCB 设计时，用户经常希望能够查看并且编辑某些对象，但是在复杂的电路中，尤其是在进行 PCB 设计时，要将某个对象从中区分出来是十分困难的。

因此，Altium Designer 13 提供了一个十分人性化的过滤功能。经过过滤后，被选定的对象将清晰地显示在工作窗口中，而其他未被选定的对象则呈现为半透明状。同时，未被选定的对象也将变成为不可操作状态，用户只能对选定的对象进行操作。

1. 使用“Navigator（导航）”面板

在原理图编辑器或 PCB 编辑器的“Navigator（导航）”面板中，单击一个项目，即可在工作窗口中启用过滤功能，后面将进行详细的介绍。

2. 使用“List（列表）”面板

在原理图编辑器或 PCB 编辑器的“List（列表）”面板中使用查询功能时，查询结果将在工作窗口中启用过滤功能，后面将进行详细的介绍。

3. 使用“PCB Filter（PCB 过滤）”工具条

使用“PCB Filter（PCB 过滤）”工具条可以对 PCB 工作窗口的过滤功能进行管理。例如，在“PCB”面板中有 3 个选项栏，第一个选项栏中列出了 PCB 板中所有的网络类，单击“All Nets”选项；第二个选项栏中列出了该网络类中包含的所有网络，单击“GND”网络；构成该网络的所有元件显示在第三个选项栏中，勾选“选择”复选框，则“GND”网络将以高亮显示，如图 6-8 所示。

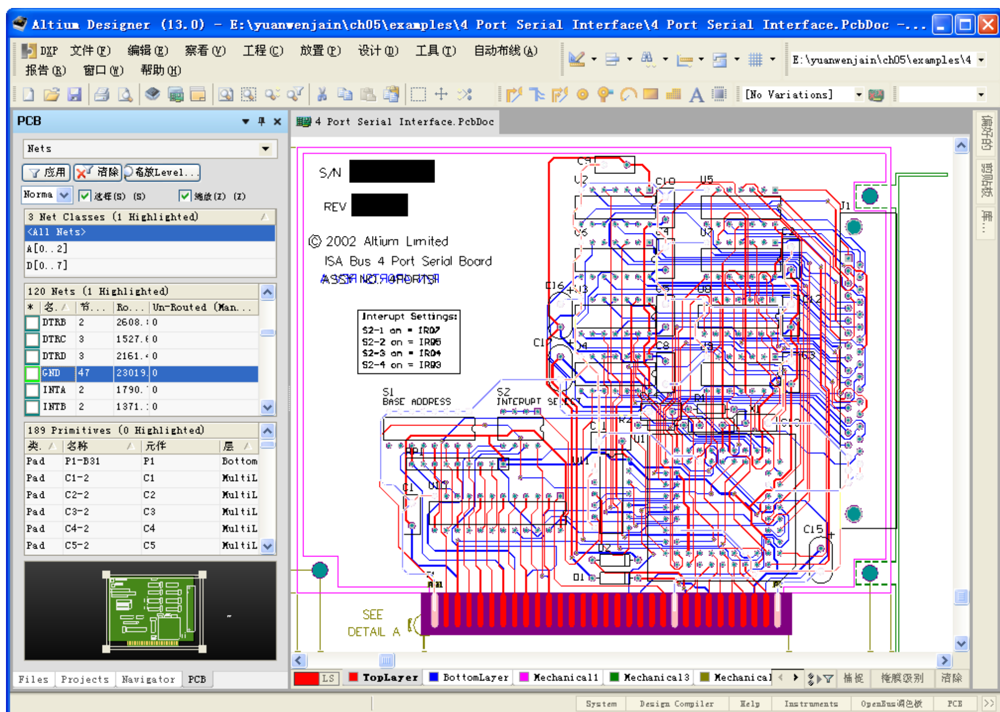



图 6-8 选择“GND”网络

在“PCB”面板中对于高亮网络有 Normal（正常）、Mask（遮挡）和 Dim（变暗）3 种显示方式，用户可通过面板中的下拉列表框进行选择。

- Normal（正常）：直接高亮显示用户选择的网络或元件，其他网络及元件的显示方式不变。
- Mask（遮挡）：高亮显示用户选择的网络或元件，其他元件和网络以遮挡方式显示（灰色），这种显示方式更为直观。
- Dim（变暗）：高亮显示用户选择的网络或元件，其他元件或网络按色阶变暗显示。

对于显示控制，有 3 个控制选项，即 Select（选择）、Zoom（缩放）和 Clear Existing（清除现有的）。

- Select（选择）：勾选该复选框，在高亮显示的同时选中用户选定的网络或元件。
- Zoom（缩放）：勾选该复选框，系统会自动将网络或元件所在区域完整地显示在用户可视区域内。如果被选网络或元件在图中所占区域较小，则会放大显示。
- Clear Existing（清除现有的）：勾选该复选框，在用户选择显示一个新的网络或元件时，上一次高亮显示的网络或元件会消失，与其他网络或元件一起按比例降低亮度显示。不勾选该复选框时，上一次高亮显示的网络或元件仍然以较暗的高亮状态显示。

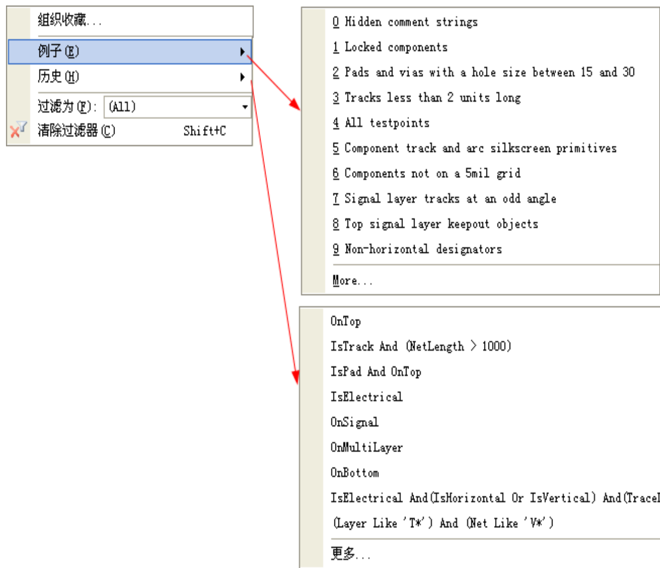
4. 使用“Filter（过滤）”菜单

在编辑器中按 Y 键，即可弹出“Filter（过滤）”菜单，如图 6-9 所示。

“Filter（过滤）”菜单中列出了 10 种常用的查询关键字，另外也可以选择其他的过滤操作元语，并加上适当的参数，如“InNet(‘GND’)”。

5．过滤的调节和清除

单击 PCB 工作窗口右下角的“过滤等级”标签，即可对过滤的透明度进行调节，如图 6-10 所示。



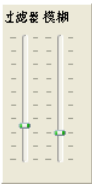




图 6-9 “Filter”菜单　　　　图 6-10 调节过滤的透明度

单击 PCB 工作窗口右下角的“清除”标签，或用快捷键 Shift+C，或者单击“PCB 标准”工具栏中的（清除）按钮，即可清除过滤显示。

## 6.4 在原理图中添加 PCB 设计规则

Altium Designer 允许用户在原理图中添加 PCB 设计规则。当然，PCB 设计规则也可以在 PCB 编辑器中定义。不同的是，在 PCB 编辑器中，设计规则的作用范围是在规则中定义的，而在原理图编辑器中，设计规则的作用范围就是添加规则所处的位置。这样，用户在进行原理图设计时，可以提前定义一些 PCB 设计规则，以便进行下一步 PCB 设计。

### 6.4.1 在对象属性中添加设计规则

编辑一个对象（可以是元件、引脚、输入、输出端口或原理图符号）的属性时，在属性对话框中单击“添加规则”按钮，系统将弹出如图 6-11 所示的“参数属性”对话框。

单击该对话框中的“编辑规则值”按钮，系统将弹出如图 6-12 所示的“选择设计规则类型”对话框，在该对话框中可以选择要添加的设计规则。

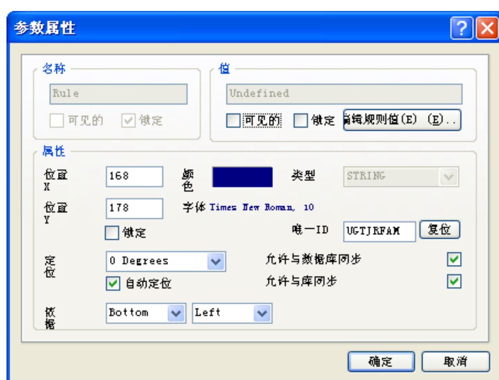



图 6-11 “参数属性”对话框

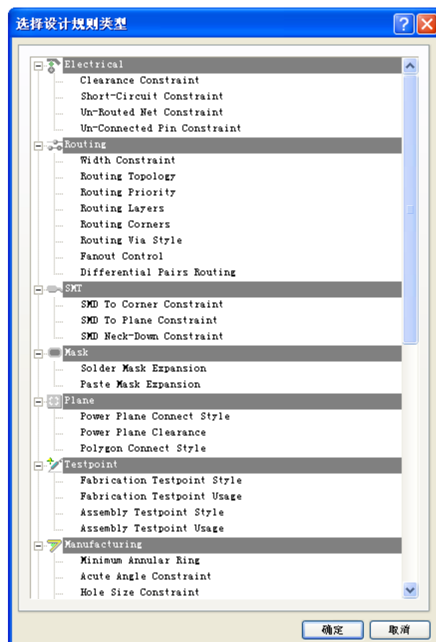



图 6-12 “选择设计规则类型”对话框

## 6.4.2 在原理图中放置 PCB Layout 标志

对于元件、引脚等对象，可以使用前面介绍的方法添加设计规则。而对于网络、属性对话框，需要在网络上放置 PCB Layout 标志来设置 PCB 设计规则。

例如，对如图 6-13 所示电路的 VCC 网络和 GND 网络添加一条设计规则，设置 VCC 和 GND 网络的走线宽度为 30mil 的操作步骤如下：

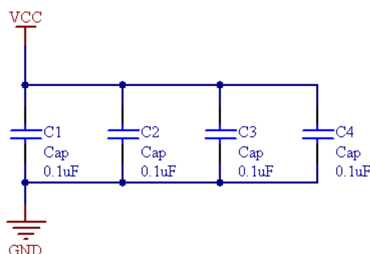



图 6-13 示例电路

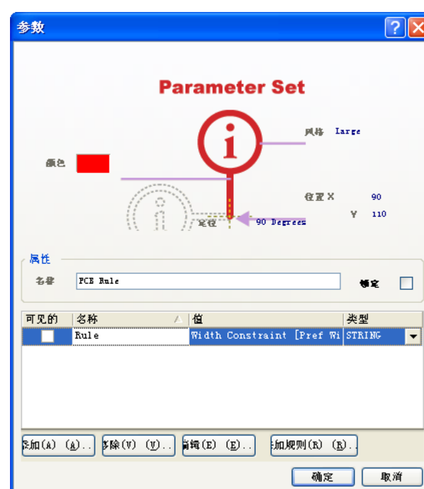



图 6-14 “参数”对话框

Step1 单击菜单栏中的“放置”→“指示”→“PCB 布局”命令，即可放置 PCB Layout 标志，此时按 Tab 键，弹出如图 6-14 所示的“参数”对话框。

Step2 单击“编辑”按钮，系统将弹出如图 6-11 所示的“参数属性”对话框。单击其中的“编辑规则值”按钮，系统将弹出如图 6-12 所示的“选择设计规则类型”对话框，在其中可以选择要添加的设计规则。双击“Width Constraint”选项，系统将弹出如图 6-15 所示的“Edit PCB Rule(From Schematic)-Max-Min Width Rule（编辑 PCB 规则）”对话框。其中各选项意义如下：

- Min Width（最小值）：走线的最小宽度。
- Preferred Width（首选的）：走线首选宽度。
- Max Width（最大值）：走线的最大宽度。

Step3 将 3 项都设为 30mil，单击“OK（确定）”按钮。

Step4 将修改后的 PCB Layout 标志放置到相应的网络中，完成对 VCC 和 GND 网络走线宽度的设置，效果如图 6-16 所示。

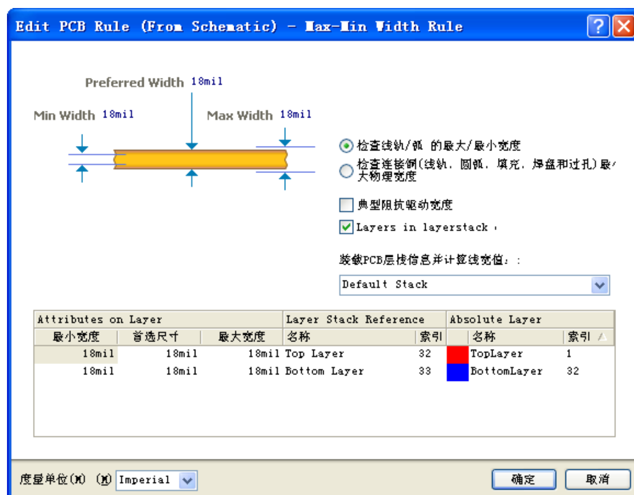



图 6-15 “Edit PCB Rule”对话框

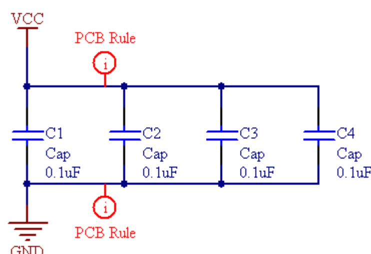



图 6-16 添加 PCB Layout 标志的效果

## 6.5 使用 Navigator（导航）面板进行快速浏览

### 1.“Navigator（导航）”面板

“Navigator（导航）”面板的作用是快速浏览原理图中的元件、网络及违反设计规则的内容等。“Navigator（导航）”面板是 Altium Designer 13 强大集成功能的体现之一。

在对原理图文档编译以后，单击“Navigator（导航）”面板中的“Interactive Navigation（相互导航）”按钮，就会在下面的“网络/总线”列表框中显示出原理图中的所有网络。单击其中的一个网络，立即在下面的列表框中显示出与该网络相连的所有节点，同时工作窗口的图纸将该网络的所有元件高亮显示出来，并置于选中状态，如图 6-17 所示。

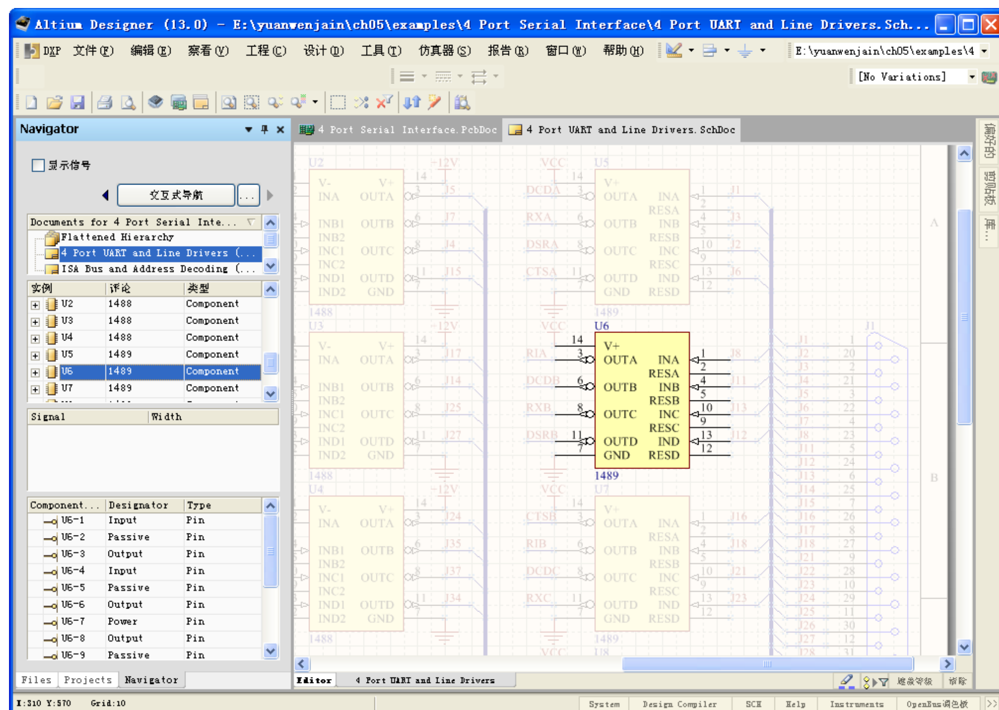


图 6-17 在“Navigator”面板中选中一个网络

2. “SCH Filter（SCH 过滤）”面板

“SCH Filter（SCH 过滤）”面板的作用是根据所设置的过滤器，快速浏览原理图中的元件、网络及违反设计规则的内容等，如图 6-18 所示。

下面简要介绍“SCH Filter（SCH 过滤）”面板。

- “Consider objects in（对象查找范围）”下拉列表框：用于设置查找范围，包括 Current Document（当前文档）、Open Document（打开文档）和 Open Document of the Same Project（在同一个项目中打来文档）3 个选项。
- “Find items matching these criteria（设置过滤器过滤条件）”文本框：用于设置过滤器，即输入查找条件。如果用户不熟悉输入语法，可以单击下面的“Helper（帮助）”按钮，在弹出的“Query Helper（查询帮助）”对话框中输入过滤器查询条件语句，如图 6-19 所示。
- “Favorites（收藏）”按钮：用于显示并载入收藏的过滤器。单击该按钮，系统将弹出收藏过滤器记录窗口。
- “History（历史）”按钮：用于显示并载入曾经设置过的过滤器，可以大大提高搜索效率。单击该按钮，系统将弹出如图 6-20 所示的过滤器历史记录对话框，选中其中一个记录后，单击即可实现过滤器的加载。单击“Add To Favorites（添加到收藏）”按钮可以将历史记录过滤器添加到收藏夹。
- “Select（选择）”复选框：用于设置是否将符合匹配条件的元件置于选中状态。
- “Zoom（缩放）”复选框：用于设置是否将符合匹配条件的元件进行放大显示。

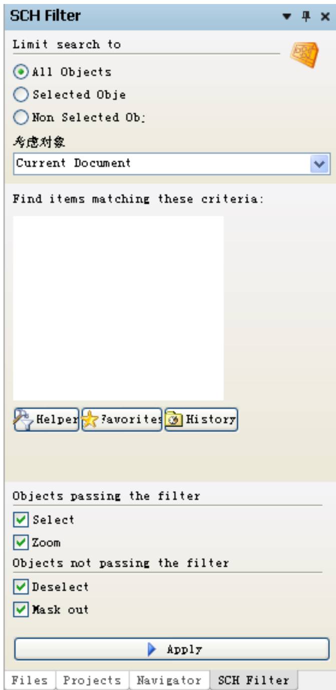



图 6-18　“SCH Filter”面板

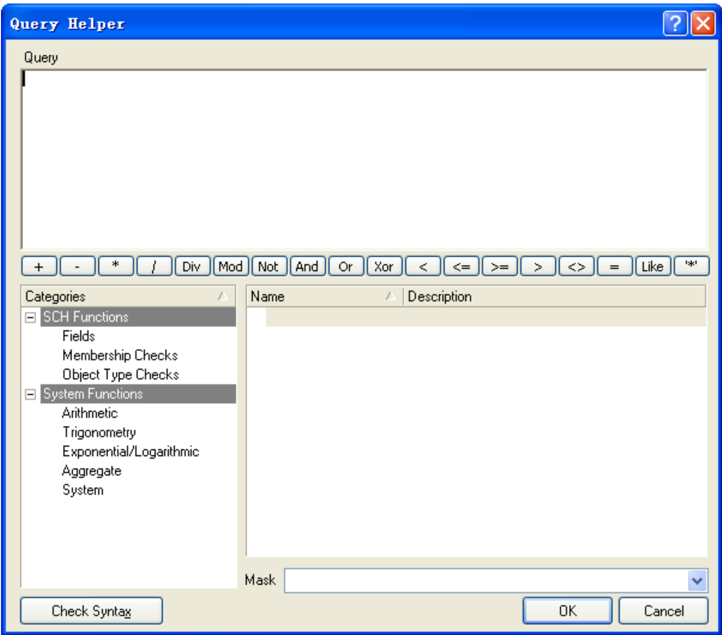



图 6-19　“Query Helper”对话框

- “Deselect（取消选定）”复选框：用于设置是否将不符合匹配条件的元件置于取消选中状态。
- “Mask out（屏蔽）”复选框：用于设置是否将不符合匹配条件的元件屏蔽。
- “Apply（应用）”按钮：用于启动过滤查找功能。

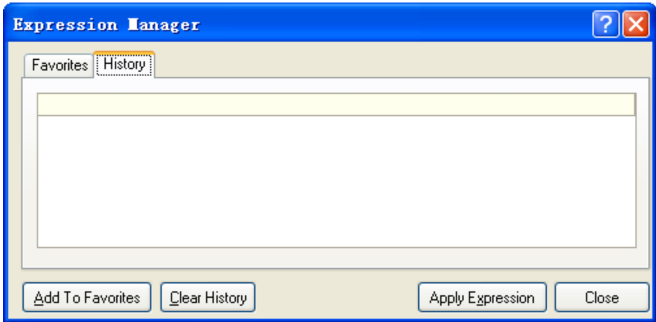



图 6-20　过滤器历史记录对话框

## 6.6　原理图的电气检测及编译

Altium Designer 13 和其他的 Protel 家族软件一样提供了电气检查规则，可以对原理图的电气连接特性进行自动检查，检查后的错误信息将在“Messages（信息）”面板中列出，同时也在原理图中标注出来。用户可以对检查规则进行设置，然后根据面板中所列出的错误

信息来对原理图进行修改。有一点需要注意，原理图的自动检测机制只是按照用户所绘制原理图中的连接进行检测，系统并不知道原理图的最终效果，所以如果检测后的“Messages（信息）”面板中并无错误信息出现，这并不表示该原理图的设计完全正确。用户还需将网络表中的内容与所要求的设计反复对照和修改，直到完全正确为止。

### 6.6.1 原理图的自动检测设置

原理图的自动检测可以在“Project Options（项目选项）”中设置。单击菜单栏中的“工程”→“工程参数”命令，系统将弹出如图 6-21 所示的“Options for PCB Project…（PCB 项目的选项）”对话框，所有与项目有关的选项都可以在该对话框中进行设置。

在该对话框的各选项卡中，与原理图检测有关的主要有“Error Reporting（错误报告）”选项卡、“Connection Matrix（电路连接检测矩阵）”选项卡和“Comparator（比较器）”选项卡。当对工程进行编译操作时，系统会根据该对话框中的设置进行原理图的检测，系统检测出的错误信息将在“Messages（信息）”面板中列出。

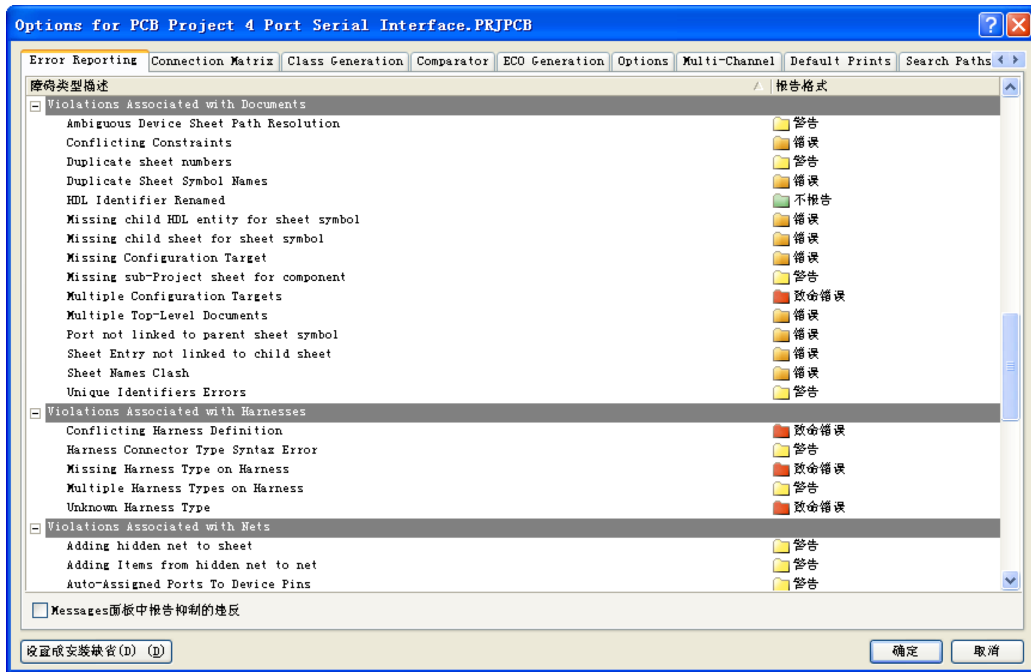



图 6-21 “Options for PCB Project…”对话框

1．“Error Reporting（错误报告）”选项卡的设置

在该选项卡中可以对各种电气连接错误的等级进行设置。其中的电气错误类型检查主要分为 6 类。其中各栏下又包括不同选项，各选项含义读者可以参阅帮助文件。

2．“Connection Matrix（电路连接检测矩阵）”选项卡

在该选项卡中，用户可以定义一切与违反电气连接特性有关报告的错误等级，特别是元

件引脚、端口和原理图符号上端口的连接特性。当对原理图进行编译时，错误的信息将在原理图中显示出来。要想改变错误等级的设置，单击选项卡中的颜色块即可，每单击一次改变一次，与“Error Reporting（报告错误）”选项卡一样，也包括 4 种错误等级，即 No Report（不显示错误）、Warning（警告）、Error（错误）和 Fatal Error（严重的错误）。在该选项卡的任何空白区域中右击，将弹出一个右键快捷菜单，可以设置各种特殊形式，如图 6-22 所示。当对项目进行编译时，该选项卡的设置与“Error Reporting（报告错误）”选项卡中的设置将共同对原理图进行电气特性的检测。所有违反规则的连接将以不同的错误等级在“Messages（信息）”面板中显示出来。单击“Set To Installation Defaults（设置成安装默认值）”按钮，可恢复系统的默认设置。对于大多数的原理图设计保持默认的设置即可，但对于特殊原理图的设计则需用户进行一定的改动。

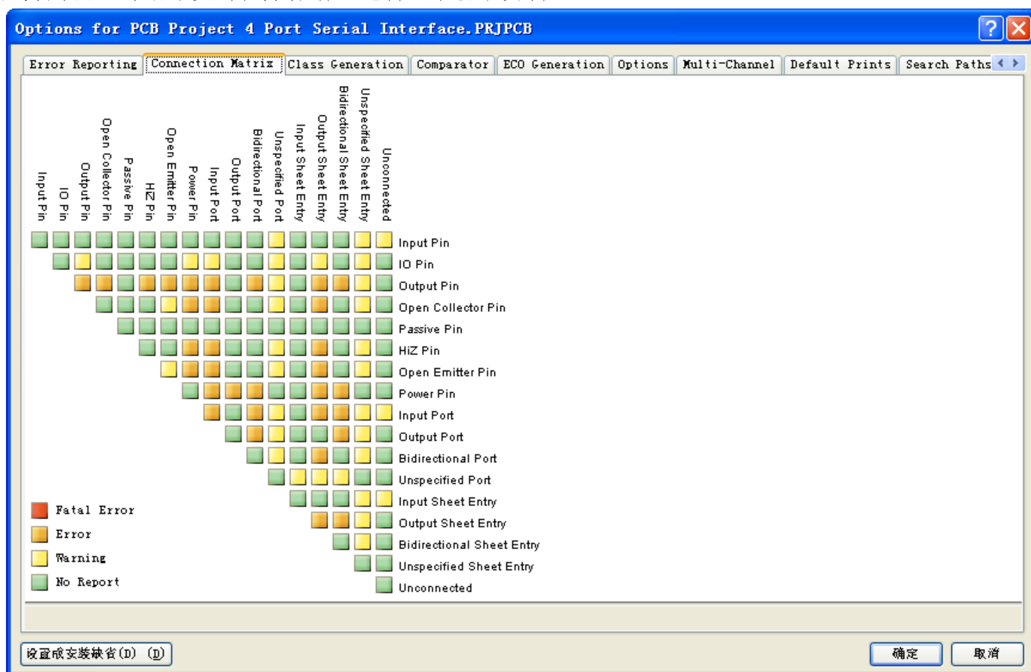



图 6-22 “Connection Matrix”选项卡设置

## 6.6.2 原理图的编译

对原理图的各种电气错误等级设置完毕后，用户便可以对原理图进行编译操作，随即进入原理图的调试阶段。单击菜单栏中的“工程”→“Compile Document…（文件编译）”命令，即可进行文件的编译。

文件编译完成后，系统的自动检测结果将出现在“Messages（信息）”面板中。打开“Messages（信息）”面板的方法有以下 3 种：

- 单击菜单栏中的“察看”→“工作面板”→“System（系统）”→“Messages（信息）”命令。
- 单击工作窗口右下角的“System（系统）”标签，在弹出的菜单中单击“Messages

（信息）”命令。

- 在工作窗口中右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“工作面板”→“System（系统）”→“Messages（信息）”命令。

### 6.6.3　原理图的修正

当原理图绘制无误时，“Messages（信息）”面板中将为空。当出现错误的等级为“Error（错误）”或“Fatal Error（严重的错误）”时，“Messages（信息）”面板将自动弹出。错误等级为“Warning（警告）”时，需要用户自己打开“Messages（信息）”面板对错误进行修改。

下面以“音量控制电路原理图.SchDoc”为例，介绍原理图的修正操作步骤。为方便操作，将原理图放置到“yuanwenjian\ch_06\音量控制电路”目录下。如图 6-23 所示，原理图中 A 点和 B 点应该相连接，在进行电气特性的检测时该错误将在“Messages（信息）”面板中出现。

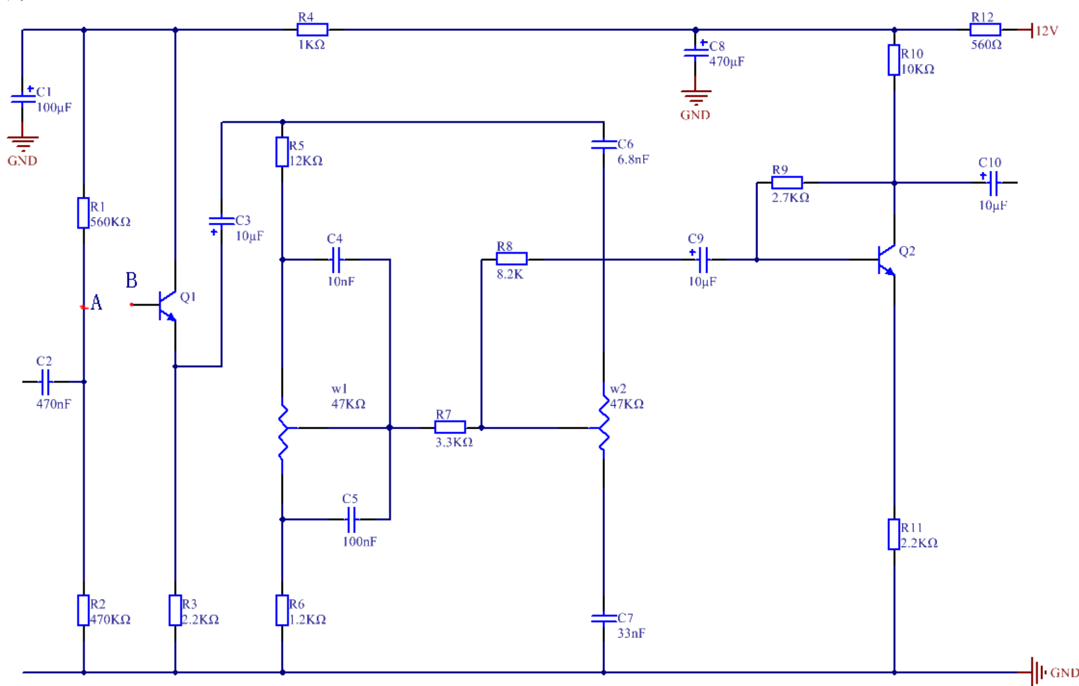



图 6-23　存在错误的音量控制电路原理图

Step1　单击音量控制电路原理图标签，使该原理图处于激活状态。

Step2　在该原理图的自动检测“Connection Matrix（电路连接检测矩阵）”选项卡中，将纵向的“Unconnected（不相连的）”和横向的“Passive Pins（被动引脚）”相交颜色块设置为褐色的“Error（错误）”错误等级。单击“OK（确定）”按钮，关闭该对话框。

Step3　单击菜单栏中的“工程”→“Compile Document 音量控制电路原理图.SchDoc（文件编译）”命令，对该原理图进行编译。此时“Message（信息）”面板将出现在工作窗口的下方，如图 6-24 所示。

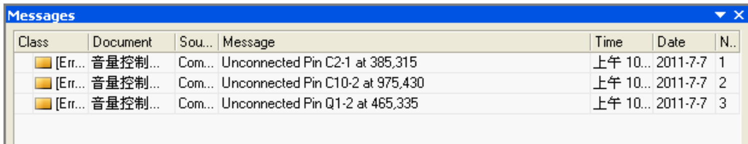



图 6-24　编译后的“Message”面板

Step4 在“Message（信息）”面板中双击错误选项，系统将弹出如图 6-25 所示的“Compile Errors（编译错误）”面板，列出了该项错误的详细信息。同时，工作窗口将跳到该对象上。除了该对象外，其他所有对象处于被遮挡状态，跳转后只有该对象可以进行编辑。




图 6-25　“Compile Errors”面板

Step5 单击菜单栏中的“放置”→“线”命令，或者单击“连线”工具栏中的（放置线）按钮，放置导线。

Step6 重新对原理图进行编译，检查是否还有其他的错误。

Step7 保存调试成功的原理图。

## 6.7　操作实例——电脑麦克风电路原理图

电脑麦克风是一种非常实用的多媒体电脑外设。本实例设计一个如图 6-26 所示的电脑麦克风电路原理图，并对其进行查错和编译操作。具体的操作步骤如下：

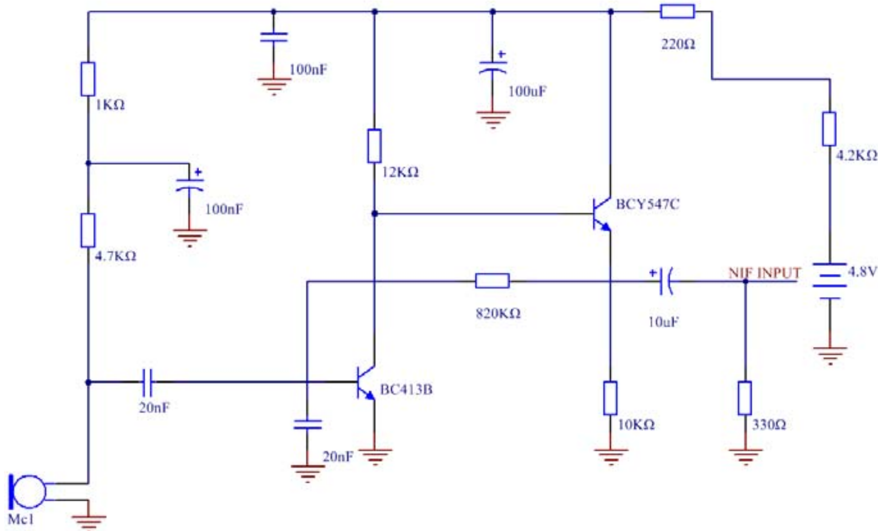



图 6-26　电脑麦克风电路原理图

1．新建项目并创建原理图文件

Step1 为电路创建一个项目，以便维护和管理该电路的所有设计文档。启动 Altium Designer 13，单击菜单栏中的“文件”→“New（新建）”→“Project（工程）”→“PCB 工程（印制电路板工程文件）”命令，创建一个 PCB 项目文件。

Step2 单击菜单栏中的“文件”→“保存工程为”命令，将项目以适当的文件名保存。

Step3 在“Projects（工程）”面板的项目文件上右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“给工程添加新的”→“Schematic（原理图）”命令，新建一个原理图文件，并自动切换到原理图编辑环境。

Step4 用保存项目文件的方法，将该原理图文件另存为“电脑麦克风电路原理图.SchDoc”。保存后“Projects（工程）”面板中显示出用户设置的名称。

Step5 单击菜单栏中的“设计”→“文档选项”命令，系统将弹出“文档选项”对话框，按照图 6-27 进行设置。

Step6 设置图纸的标题栏。单击“文档选项”对话框中的“参数”选项卡，出现标题栏设置选项。在“Address（地址）”选项中输入地址，在“Organization（机构）”选项中输入设计机构名称，在“Title（标题）”选项中输入原理图的名称，其他选项可以根据需要进行设置。最后，单击“OK（确定）”按钮完成设置。

2．元件的放置与属性设置

Step1 激活“库”面板，单击其中的“Search（搜索）”按钮，在弹出的“Libraries Search（搜索元件库）”对话框中输入查找内容“mic2”。

Step2 单击“Search（搜索）”按钮进行搜索，并返回“库”面板，搜索结束后，即可从元件列表中选择麦克风元件，如图 6-28 所示。

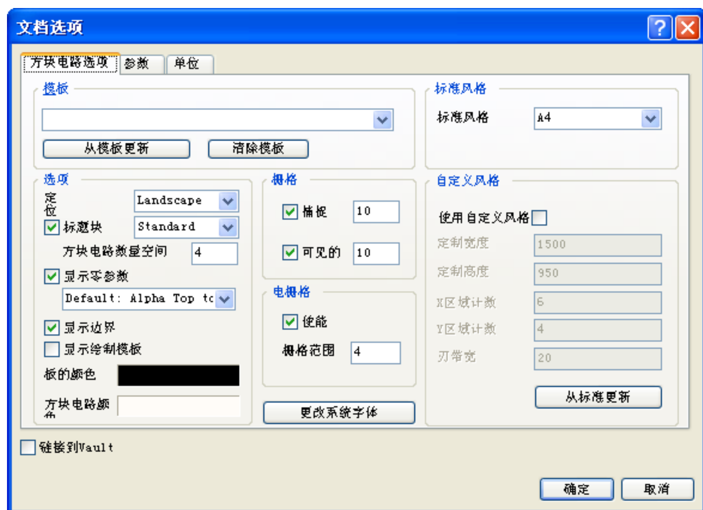



图 6-27　设置“文档选项”对话框

Step3 单击“Place Mic2（放置 Mic2）”按钮，然后将光标移动到工作窗口，进入如图 6-29 所示的麦克风放置状态。按 Tab 键，在弹出的“Properties for Schematic Component

in Sheet（原理图元件属性）”对话框中修改元件属性，具体设置如图 6-30 所示。设置完成后单击“确定”按钮即可。

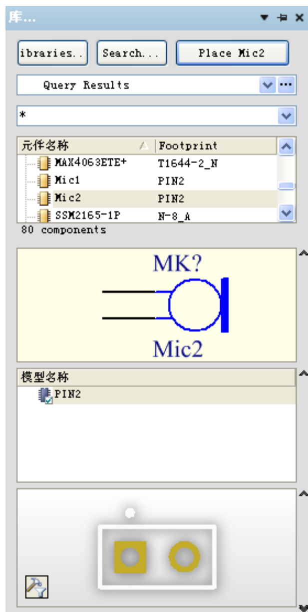



图 6-28　选择麦克风元件

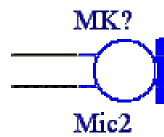



图 6-29　麦克风放置状态

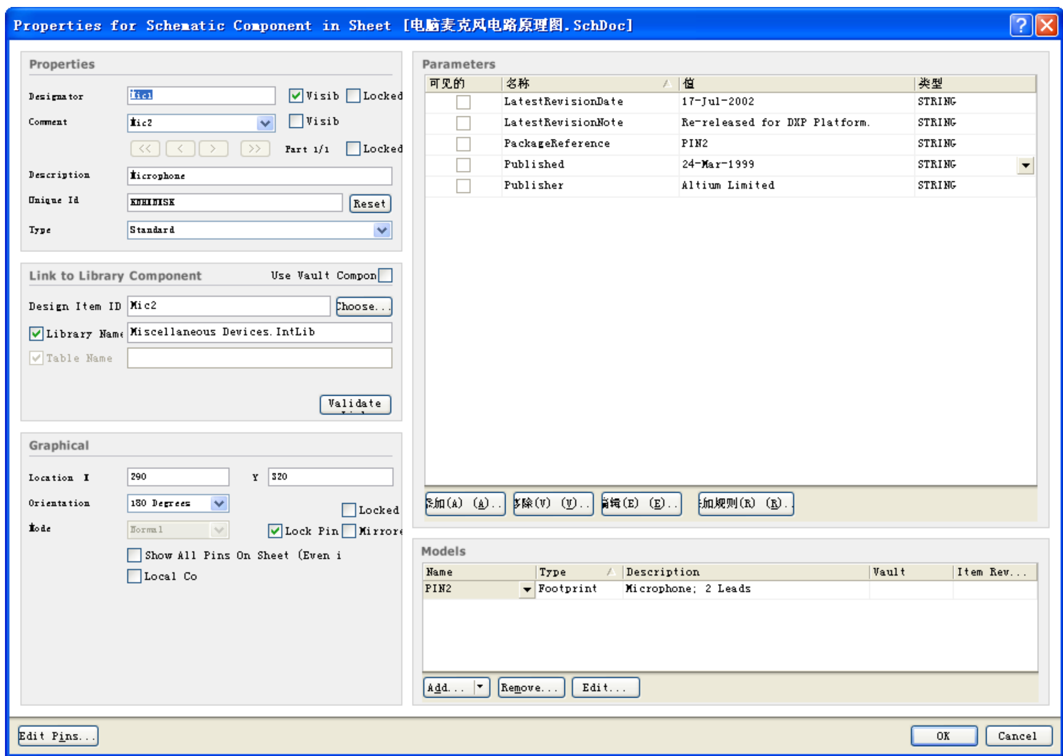



图 6-30　“Properties for Schematic Component in Sheet”对话框

Step4 采用同样的方法，在“库”面板中选择电阻、电容、三极管、电源等元件，然后将它们放置到工作窗口中，如图 6-31 所示。

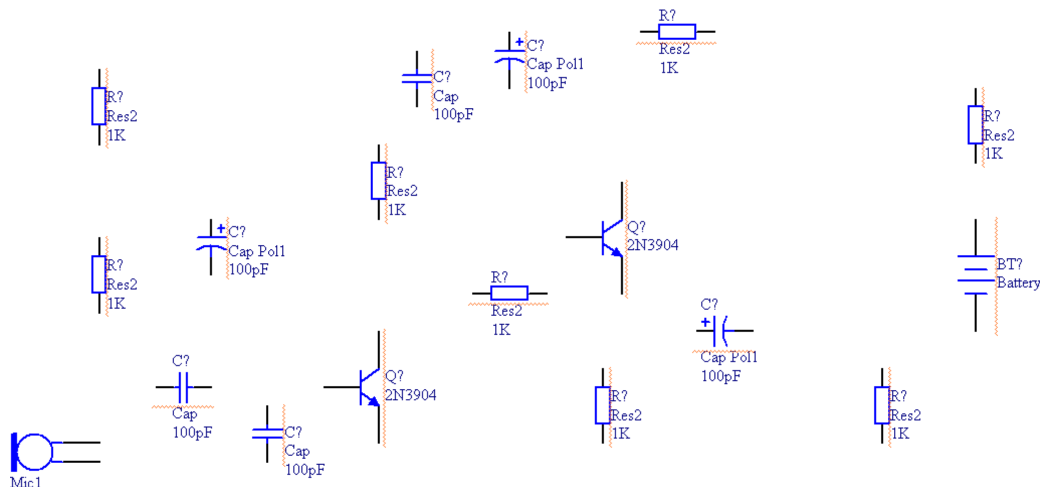



图 6-31 放置其他元件

Step5 设置元件属性。双击元件可以打开元件的属性设置对话框。例如，双击一个电阻，在弹出的“Properties for Schematic Component in Sheet（原理图元件属性）”对话框中设置电阻元件的属性，如图 6-32 所示。设置完成后单击“OK（确定）”按钮，然后采用同样的办法设置其他各个元件的属性，属性设置效果如图 6-33 所示。

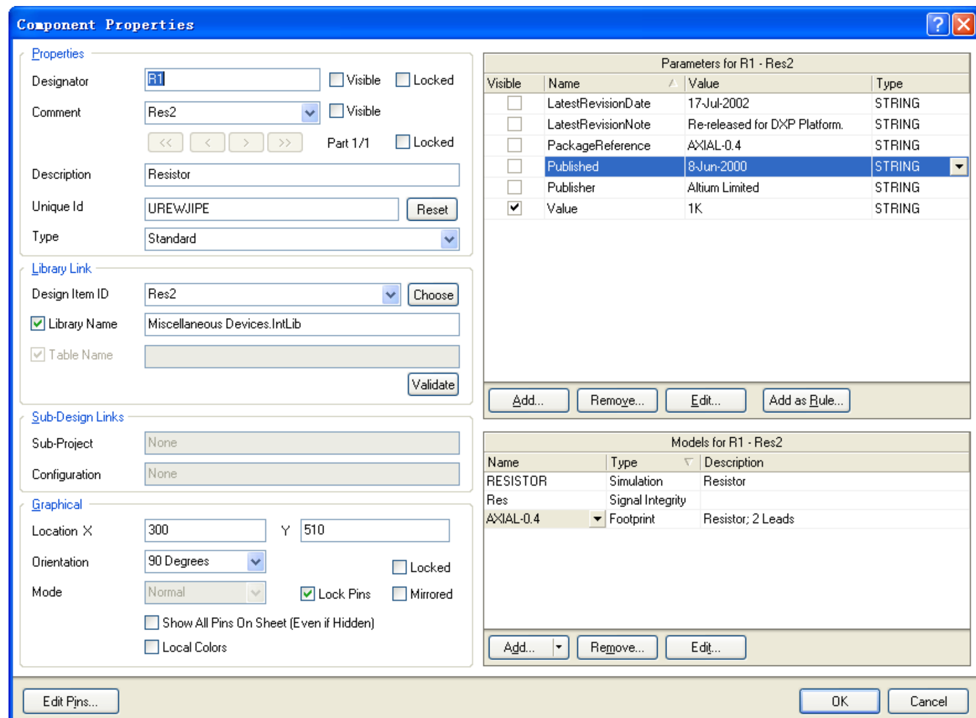



图 6-32 设置电阻元件属性

3．元件布局

Step1 选中元件，按住鼠标左键进行拖动，将元件移至合适的位置后释放鼠标左键，即可对其进行移动操作。移动对象时，通过按 Page Up 或 Page Down 键来缩放视图，以便观察细节。

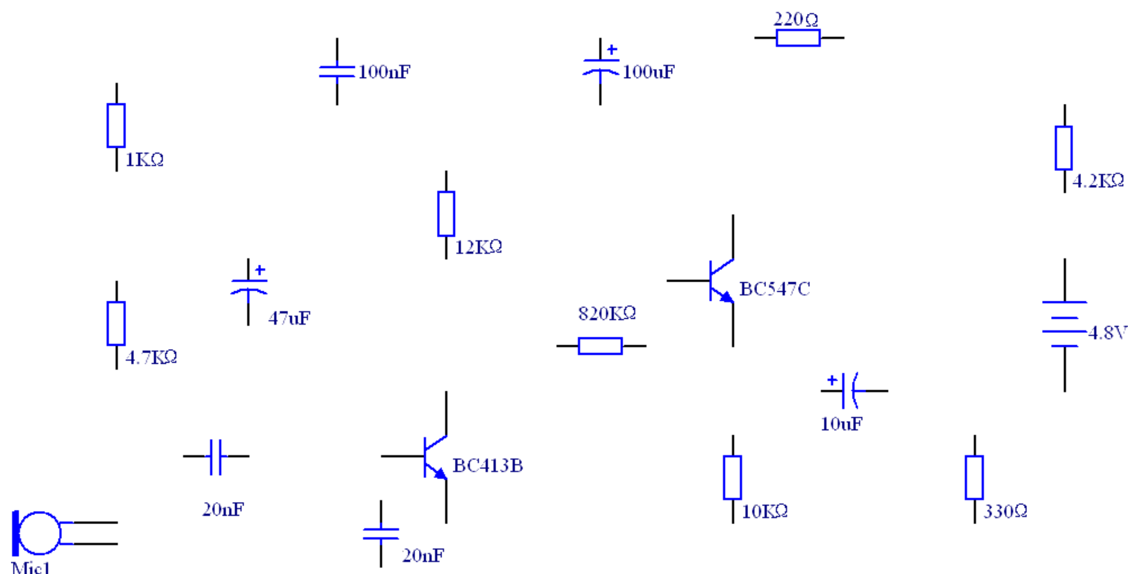



图 6-33　元件属性设置效果

Step2 选中元件的标注部分，按住鼠标左键进行拖动，可以移动元件标注的位置。

Step3 采用同样的方法调整所有的元件，元件布局调整后的效果如图 6-34 所示。

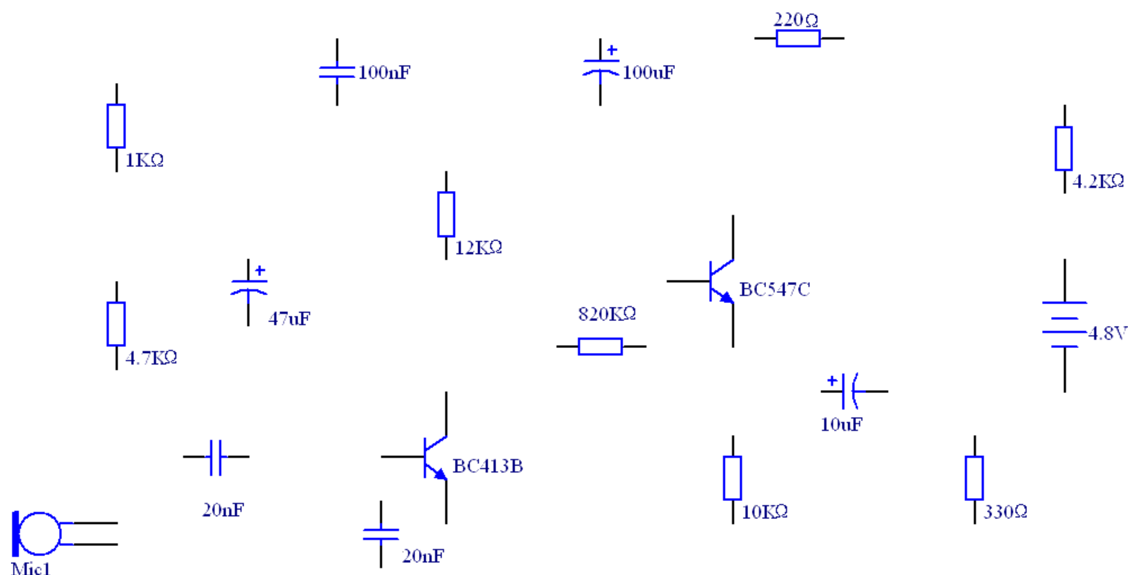



图 6-34　元件布局调整后的效果

4．原理图连线

Step1 单击“连线”工具栏中的 （放置线）按钮，进入导线放置状态。将光标移动到一个元件的引脚上，十字光标的叉号变为红色，单击即可确定导线的一个端点。

Step2 将光标移动到另外一个需要连接的元件引脚处，再次出现红色交叉符号后单击，即可放置一段导线。

Step3 采用同样的方法放置其他导线，如图 6-35 所示。

Step4 单击“连线”工具栏中 （放置 GND 端口）按钮，进入接地放置状态。按 Tab 键，弹出“电路端口”对话框，将“网络”设置为“GND”，取消“显示网络名”复选框勾选，如图 6-36 所示。单击“确定”按钮。

Step5 将光标移动到 Mic1 下方的引脚处，单击，放置一个接地符号。

Step6 采用同样的方法放置其他接地符号，如图 6-37 所示。

Step7 单击菜单栏中的“工程”→“Compile Document 电脑麦克风电路原理图.SchDoc（文件编译）”命令，对该原理图进行编译。本例没有出现任何错误信息，表明电气检查通过。

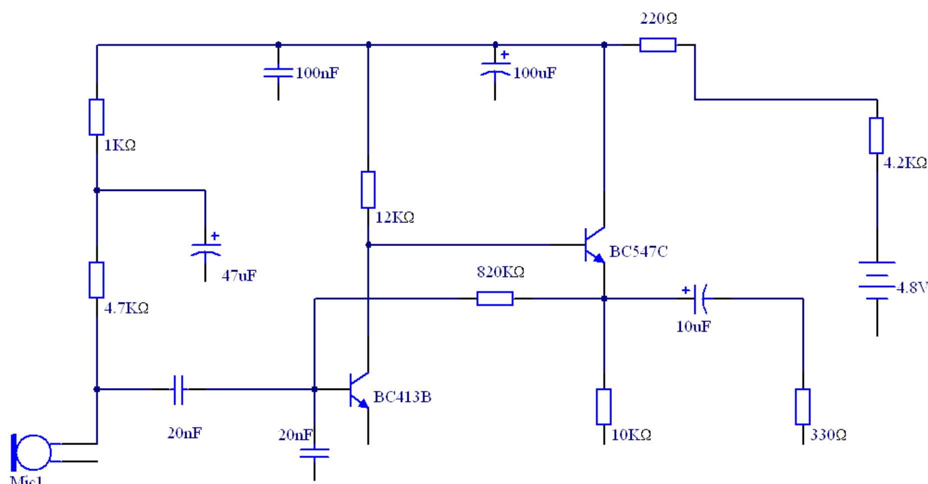



图 6-35　放置导线

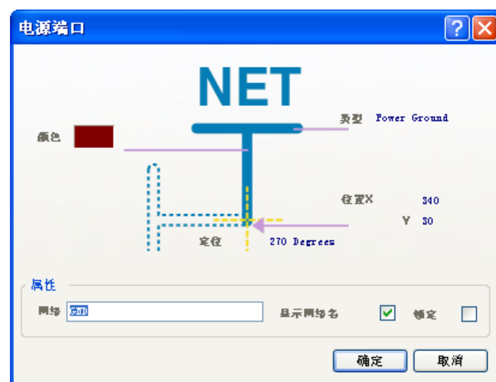



图 6-36　“电路端口”对话框

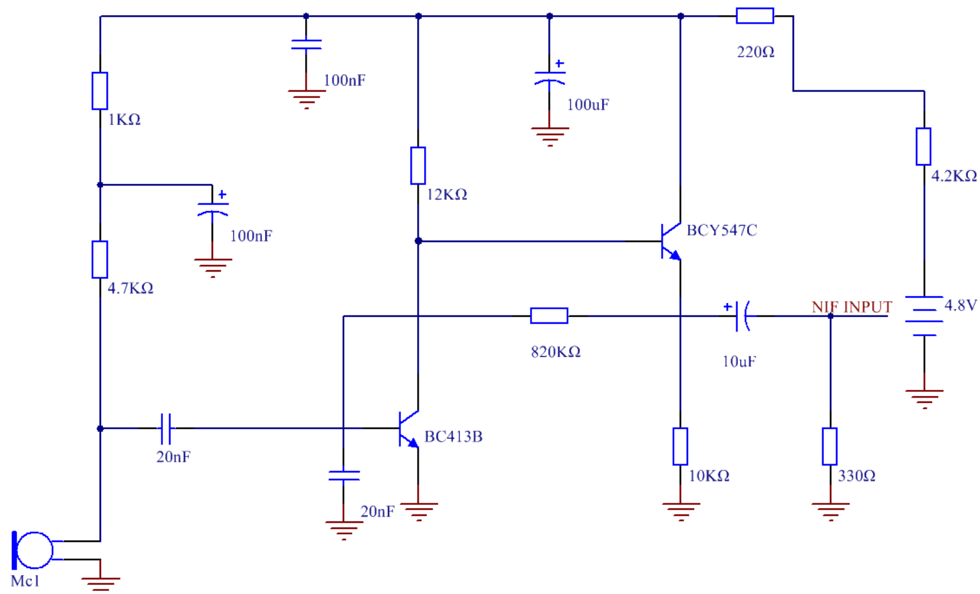
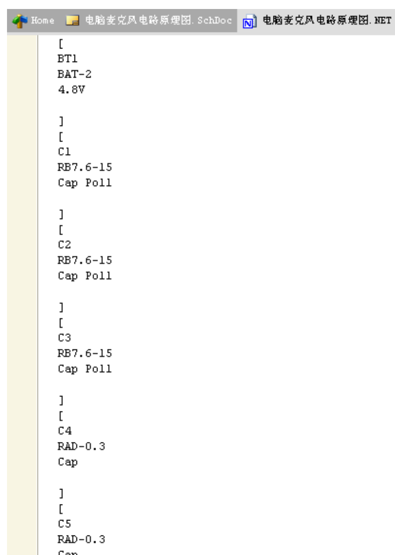



图 6-37　放置接地符号

5．报表输出

Step1 单击菜单栏中的“设计”→“文件的网络表”→“Protel（生成网络表文件）”命令。

Step2 系统自动生成了当前原理图的网络表文件“电脑麦克风电路原理图.NET”，并存放在当前项目下的“Generated\Netlist Files”文件夹中。双击打开该原理图的网络表文件“电脑麦克风电路原理图.NET”，结果如图 6-38 所示。




```
[
BT1
BAT-2
4.8V

]
[
C1
RB7.6-15
Cap Pol1

]
[
C2
RB7.6-15
Cap Pol1

]
[
C3
RB7.6-15
Cap Pol1

]
[
C4
RAD-0.3
Cap

]
[
C5
RAD-0.3
Cap
```

图 6-38　网络表文件

Step3 单击菜单栏中的“报告”→“Bill of Materials（元件清单）”命令，系统将弹出相应的元件报表对话框，设置元件报表，如图 6-39 所示。

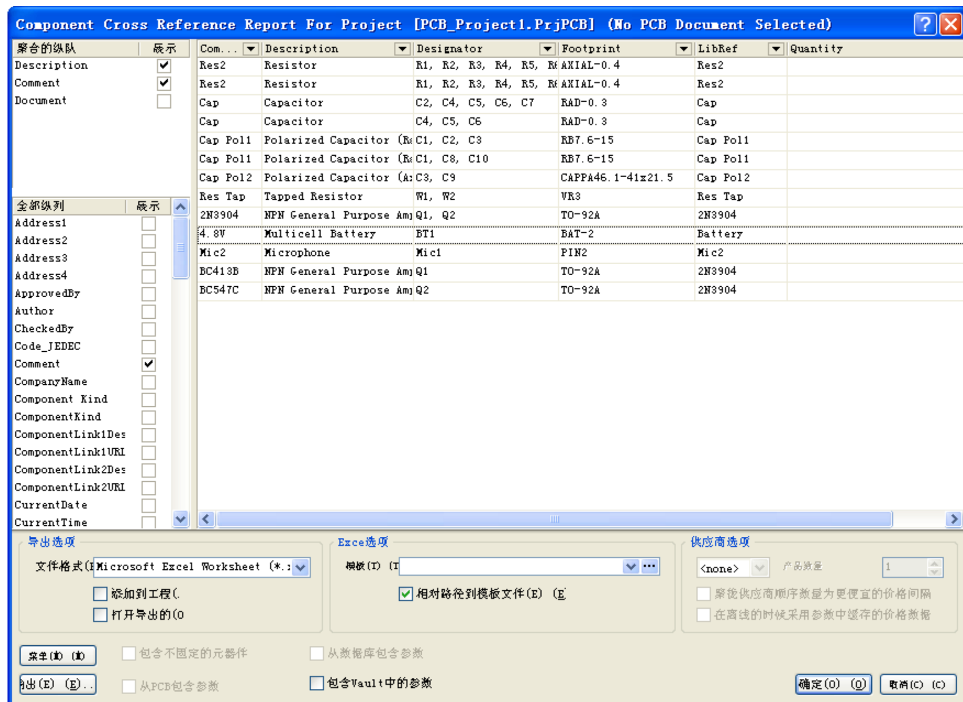
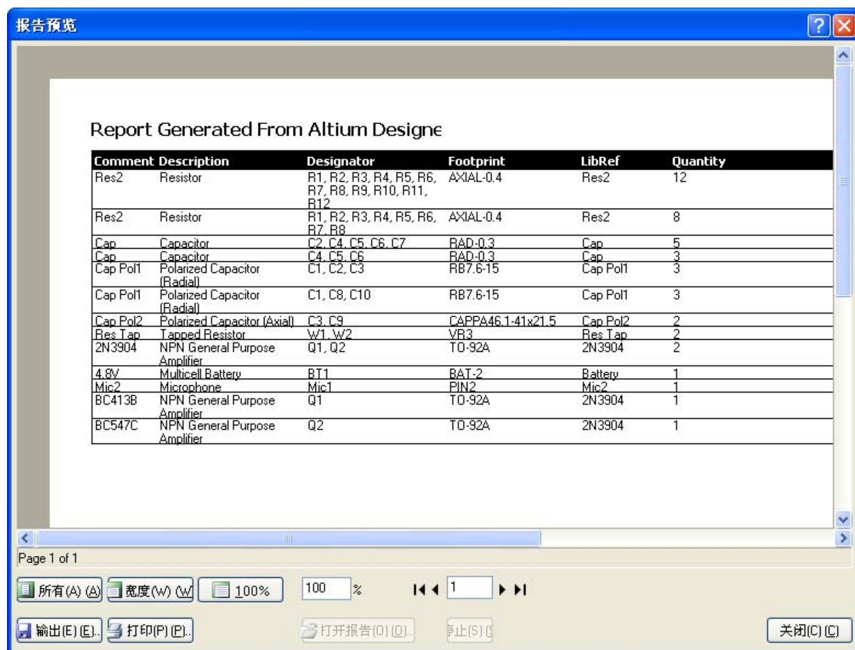



图 6-39　设置元件报表




| Comment | Description | Designator | Footprint | LibRef | Quantity |
|---|---|---|---|---|---|
| Res2 | Resistor | R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12 | AXIAL-0.4 | Res2 | 12 |
| Res2 | Resistor | R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8 | AXIAL-0.4 | Res2 | 8 |
| Cap | Capacitor | C2, C4, C5, C6, C7 | RAD-0.3 | Cap | 5 |
| Cap | Capacitor | C4, C5, C6 | RAD-0.3 | Cap | 3 |
| Cap Pol1 | Polarized Capacitor (Radial) | C1, C2, C3 | RB7.6-15 | Cap Pol1 | 3 |
| Cap Pol1 | Polarized Capacitor (Radial) | C1, C8, C10 | RB7.6-15 | Cap Pol1 | 3 |
| Cap Pol2 | Polarized Capacitor (Axial) | C3, C9 | CAPPA46.1-41x21.5 | Cap Pol2 | 2 |
| Res Tap | Tapped Resistor | W1, W2 | VR3 | Res Tap | 2 |
| 2N3904 | NPN General Purpose Amplifier | Q1, Q2 | TO-92A | 2N3904 | 2 |
| 4.8V | Multicell Battery | BT1 | BAT-2 | Battery | 1 |
| Mic2 | Microphone | Mic1 | PIN2 | Mic2 | 1 |
| BC413B | NPN General Purpose Amplifier | Q1 | TO-92A | 2N3904 | 1 |
| BC547C | NPN General Purpose Amplifier | Q2 | TO-92A | 2N3904 | 1 |

图 6-40　“报告预览”对话框

Step4 单击“菜单”按钮，在“菜单”菜单中单击“报告”命令，系统将弹出“报告预览”对话框，如图 6-40 所示。

Step5 单击“输出”按钮，可以将该报表进行保存，默认文件名为“电脑麦克风电路原理图.xls”，是一个 Excel 文件；单击“打开报表”按钮，可以将该报表打开；单击“打印”按钮，可以将该报表进行打印输出。

Step6 在元件报表对话框中，单击…按钮，在安装目录“C:\Program Files\Altium Designer 13\Template”下，选择系统自带的元件报表模板文件“BOM Default Template.XLT”。

Step7 单击“打开”按钮后，返回元件报表对话框。单击“确定”按钮，退出该对话框。

6. 保存项目

保存项目，完成电脑麦克风电路原理图的设计。

第 7 章

# PCB 设计基础知识

设计印制电路板是整个工程设计的最终目的。原理图设计得再完美，如果电路板设计得不合理，性能将大打折扣，严重时甚至不能正常工作。制板商要参照用户所设计的 PCB 图来进行电路板的生产。由于要满足功能上的需要，电路板设计往往有很多的规则要求，如要考虑到实际中的散热和干扰等问题。本章主要介绍印制电路板的结构、PCB 编辑器的特点、PCB 设计界面及 PCB 设计流程等知识，使读者对电路板的设计有一个全面的了解。

知识点

- 印制电路板的结构
- PCB 设计界面
- PCB 设计流程

# 7.1　PCB 编辑器界面简介

PCB 编辑器界面主要包括菜单栏、工具栏和工作面板 3 个部分，如图 7-1 所示。

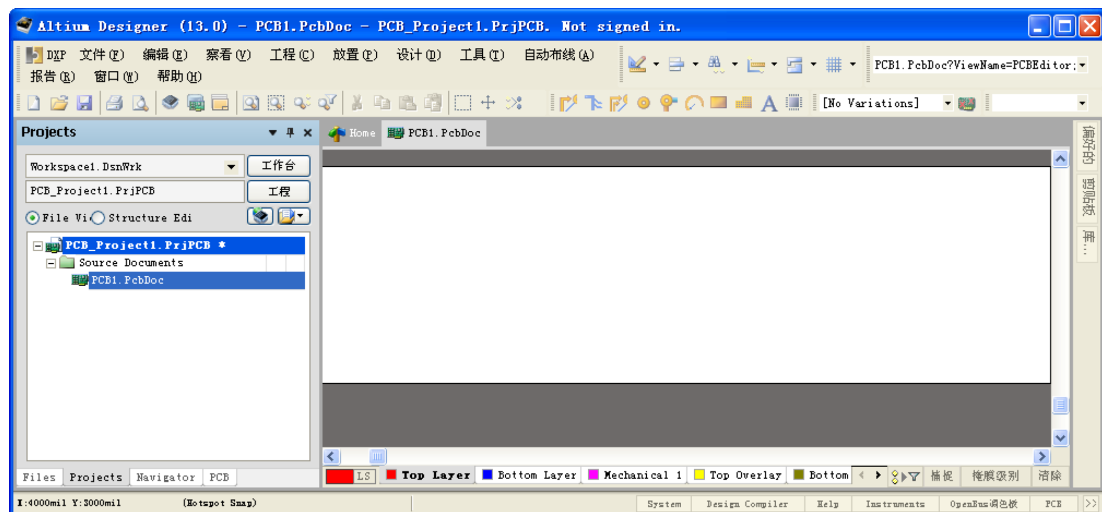



图 7-1　PCB 编辑器界面

## 7.1.1　菜单栏

在 PCB 设计过程中，各项操作都可以使用菜单栏中相应的命令来完成，菜单栏中的各菜单命令功能与原理图编辑器类似，这里只对不同的菜单项简要介绍如下：

- “设计”菜单：用于添加或删除元件库、导入网络表、原理图与 PCB 间的同步更新及印刷电路板的定义，以及电路板形状的设置、移动等操作。
- “工具”菜单：用于为 PCB 设计提供各种工具，如 DRC 检查、元件的手动与自动布局、PCB 图的密度分析及信号完整性分析等操作。
- “自动布线”菜单：用于执行与 PCB 自动布线相关的各种操作。

## 7.1.2　工具栏

工具栏中以图标按钮的形式列出了常用菜单命令的快捷方式，用户可根据需要对工具栏中包含的命令进行选择，对摆放位置进行调整。

右击菜单栏或工具栏的空白区域即可弹出工具栏的命令菜单，如图 7-2 所示。它包含 6 个命令，带有√标志的命令表示被选中而出现在工作窗口上方的工具栏中。每一个命令代表一系列工具选项。

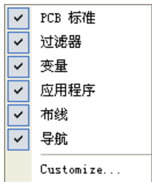



图 7-2　工具栏的命令菜单

- “PCB 标准”命令：用于控制 PCB 标准工具栏的打开与关闭，如图 7-3 所示。




图 7-3　PCB 标准工具栏

- “过滤器”命令：用于控制过滤工具栏 (All) 的打开与关闭，可以快速定位各种对象。
- “应用程序”命令：用于控制实用工具栏的打开与关闭。
- “布线”命令：用于控制连线工具栏的打开与关闭。
- “Navigation（导航）”命令：用于控制导航工具栏的打开与关闭。通过这些按钮，可以实现在不同界面之间的快速跳转。
- “Customize（用户定义）”命令：用于用户自定义设置。

## 7.2　新建 PCB 文件

新建 PCB 文件有 3 种方法，下面分别进行介绍。

### 7.2.1　利用 PCB 设计向导创建 PCB 文件

Altium Designer 13 提供了 PCB 设计向导，以帮助用户在向导的指引下建立 PCB 文件，这样可以大大减少用户的工作量。尤其是在设计一些通用的标准接口板时，通过 PCB 设计向导，可以完成外形、板层、接口等各项基本设置，十分便利。操作步骤如下：

Step1　打开“File（文件）”面板，单击“从模板新建文件”选项栏中的“PCB Board Wizard（PCB 板向导）”选项，即可打开“PCB 板向导”对话框，如图 7-4 所示。

采用其他的方法也可以打开“PCB Board Wizard（PCB 板向导）”对话框：单击菜单栏中的“察看”→“首页”命令，在工作窗口的“Design tasks（设计任务）”选项栏中单击“Printed Circuit Board Design(印制电路板设计)”选项，弹出如图 7-5 所示的“Printed Circuit Board Design（印制电路板设计）”页面；单击“PCB Document（PCB 文档）”选项栏最下面的“PCB Document Wizard（PCB 文档向导）”选项，即可弹出“PCB 板向导”对话框。




图 7-4 “PCB 板向导”对话框

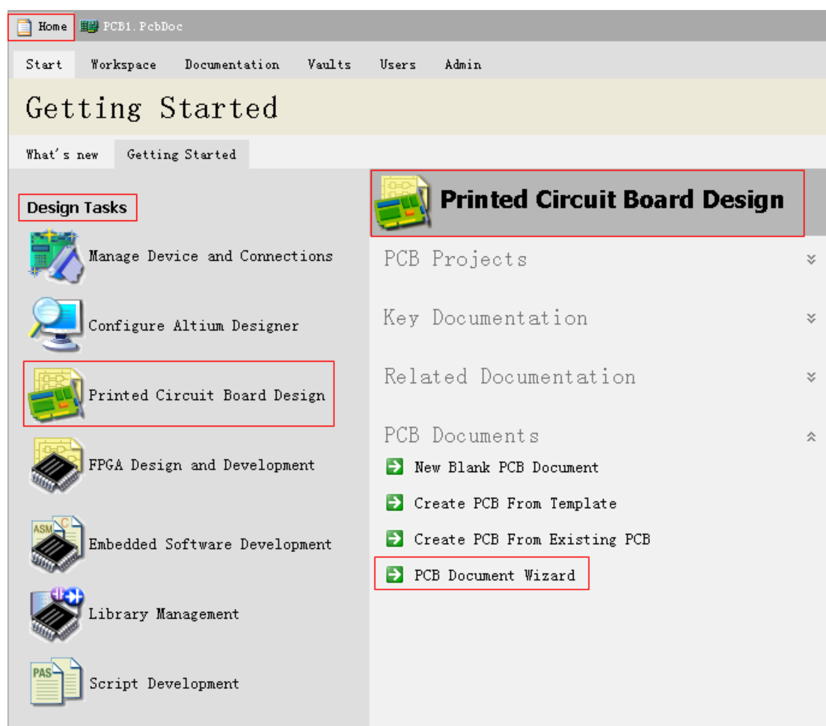



图 7-5 “Printed Circuit Board Design”页面

Step2 单击“下一步”按钮，弹出如图 7-6 所示的 PCB 单位设置界面。通常采用英制单位，因为大多数元件封装的引脚都采用英制，这样的设置有利于元件的放置、引脚的测量等操作，后面的设定将都依此单位为依据。

继续单击“下一步”按钮，可以依次设置 PCB 的各选项，这里不再一一赘述。




图 7-6　PCB 单位设置界面

### 7.2.2　利用菜单命令创建 PCB 文件

除了采用设计向导生成 PCB 文件外，用户也可以使用菜单命令直接创建一个 PCB 文件，之后再为该文件设置各种参数。创建一个空白 PCB 文件可以采用以下几种方式：

- 单击“File（文件）”面板“新的”选项栏中的“PCB（印制电路板文件）”选项。
- 单击菜单栏中的“文件”→“New（新建）”→“PCB（印制电路板文件）”命令。
- 在工作窗口的“Pick a Task（选择任务）”选项栏中单击“Printed Circuit Board Design（印制电路板设计）”选项，弹出“Printed Circuit Board Design（印制电路板设计）”页面后，在“PCB Document（PCB 文档）”选项栏中单击“New Blank PCB Document（新建空 PCB 文档）”选项。

新创建的 PCB 文件的各项参数均采用系统默认值。在进行具体设计时，我们还需要对该文件的各项参数进行设置，这些将在本章后面的内容中进行介绍。

### 7.2.3　利用模板创建 PCB 文件

Altium Designer 13 还提供了通过 PCB 模板创建 PCB 文件的方式，其操作步骤如下：

Step1 打开“File（文件）”面板，单击“从模板新建文件”选项栏中的“PCB Templates…（PCB 模板）”选项，弹出如图 7-7 所示的“Choose existing Document（选择现有的文件）”对话框。

该对话框默认的路径是 Altium Designer 13 自带的模板路径，在该路径中为用户提供

了很多个可用的模板。和原理图文件面板一样，在 Altium Designer 中没有为模板设置专门的文件形式，在该对话框中能够打开的都是包含模板信息的后缀为“PrjPcb”和“PcbDoc”的文件。

Step2 从对话框中选择所需的模板文件，然后单击“打开”按钮即可生成一个 PCB 文件，生成的文件将显示在工作窗口中。

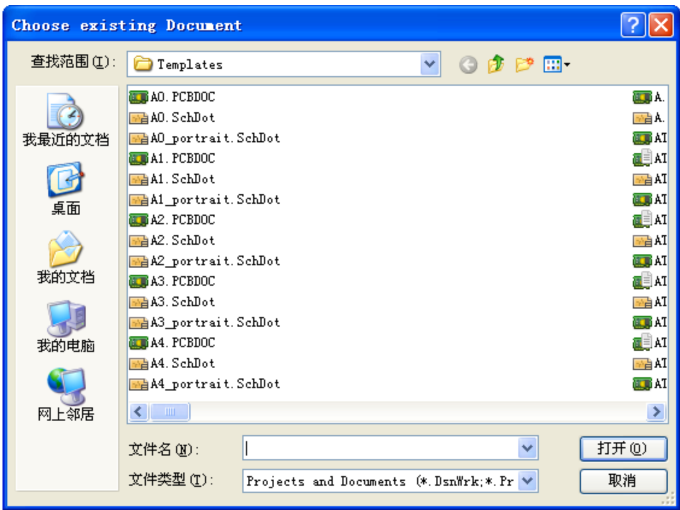



图 7-7 “Choose existing Document”对话框




图 7-8 “PCB”面板

## 7.3 PCB 面板的应用

在 PCB 设计中，最重要的一个面板就是“PCB”面板，如图 7-8 所示。该面板的功能与原理图编辑中的“Navigator（导航）”面板相似，可用于对电路板上的各种对象进行精确定位，并以特定的效果显示出来。在该面板中还可以对各种对象（如网络、规则及元件封装等）的属性进行设置。总体来说，通过该面板可以对整个电路板进行全局的观察及修改，其功能非常强大。

### 1. 定位对象的设置

单击“PCB”面板最上部的下拉列表按钮，可在该下拉列表框中选择想要查看的对象，如图 7-9 所示。

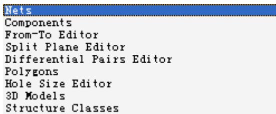



图 7-9 下拉列表框

选择其中的一项（这里以选择“Nets”选项为例），此时将在面板下面的各列表框中列出该电路板中与“Nets”相关的所有信息。

- “Net Classes（网络类）”列表框：网络类，如导线类、总线类等。

- “Nets（网络）”列表框：每一个网络类包含的所有网络列表。在“Net Classes（网络类）”列表框中单击某一个网络类，即可在此列表框中显示该网络类包含的所有网络信息。
- “Primitives（图元）”列表框：每一个网络中的对象，如焊盘、导线或者过孔等。单击“Nets（网络）”列表框中的某一网络，即可在此列表框中显示该网络中包含的对象信息。如图 7-10 所示为 D0 网络对象的定位显示。

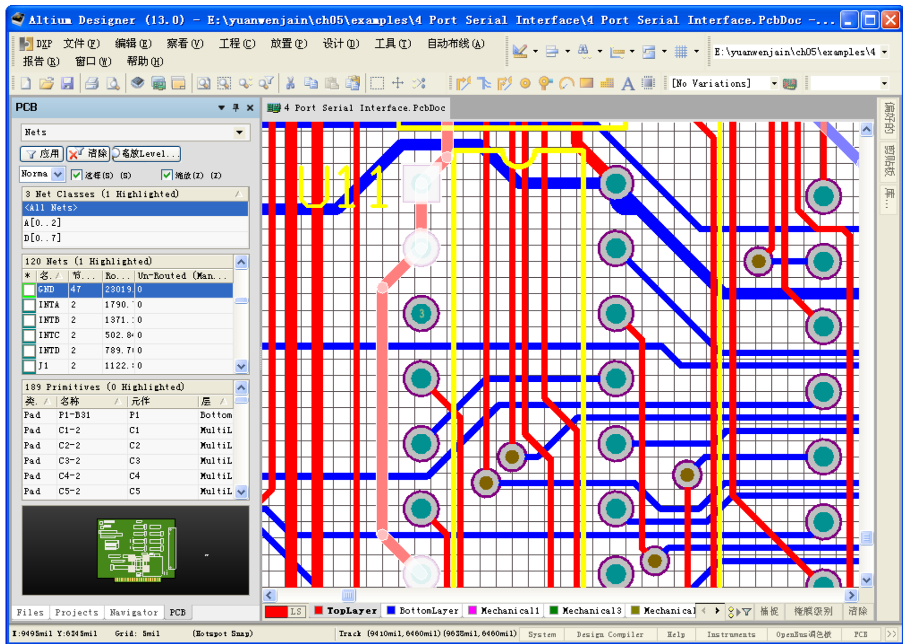


图 7-10　D0 网络对象的定位显示

双击列表框中任意选项即可打开该项内容的属性设置对话框，从中可以对电路板中对象任何信息进行修改。例如，双击网络 D0，弹出的 D0 网络属性设置对话框如图 7-11 所示。

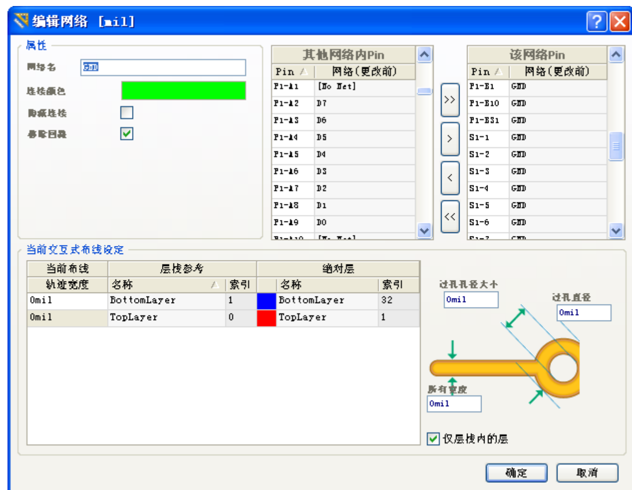


图 7-11　设置 D0 网络属性

在图 7-9 所示下拉列表中选择其他选项时，其“PCB”面板自顶向下各列表框中显示的对象分别介绍如下：

- 如果选择“Components（元件）”选项，则自顶向下各列表框中显示的对象分别为元件分类、选中分类中的所有元件及选中元件的相关信息。
- 如果选择“Rules and Violations（规则和违例）”选项，则自顶向下各列表框中显示的对象分别为规则分类、选中分类中的所有规则及违例的信息。
- 如果选择“From-To Editor（连接指示线编辑器）”选项，则自顶向下各列表框中显示的对象分别为起点网络和终点网络及各连接指示线的起始点焊盘。
- 如果选择“Split Plane Editor（分割中间层编辑器）”选项，则自顶向下各列表框中显示的对象是“Split Plane（分割层）”的网络信息。需要注意的是，只有当电路板的“Layer Stack Manager（层管理）”中设置了“Internal Plane（内平面）”时，选择该选项时才会有内容。
- 如果选择“Hole Size Editor（钻孔尺寸编辑器）”选项，则自顶向下各列表框中分别为不同类型的选择条件以及焊盘（钻孔）尺寸、数量、所属层等相关信息。
- 如果选择“3D Models（3D 模型）”选项，则自顶向下各列表框中显示的对象分别为元件分类、选中分类中的所有元件及选中元件的 3D 模型信息。

2．定位对象效果显示的设置

定位对象时，电路板上的相应显示效果可以通过以下 3 个复选框进行设置。

- “选择”复选框：用于定义在定位对象时是否将该对象置于选中状态（在对象周围出现虚线框时即表示处于选中状态）。
- “缩放”复选框：用于定义在定位对象时是否同时放大显示该对象。

3．PCB 缩略图显示窗口

在“PCB”面板的最下面是 PCB 的缩略图显示窗口，如图 7-12 所示。中间的绿色框为电路板，最小的空心边框为此时显示在工作窗口的区域。在该窗口中可以通过鼠标操作，对工作窗口中的 PCB 图进行快速移动及视图的放大、缩小等操作。

4．“PCB”面板的按钮

“PCB”面板中有 3 个按钮，主要用于视图显示的操作，功能分别如下：

- “应用”按钮：单击该按钮，可恢复前一步工作窗口中的显示效果，类似于“撤销”操作。
- “清除”按钮：单击该按钮，可恢复印刷电路板的最初显示效果，即完全显示 PCB 中的所有对象。
- “缩放”按钮：单击该按钮，可精确设置显示对象的放大程度。

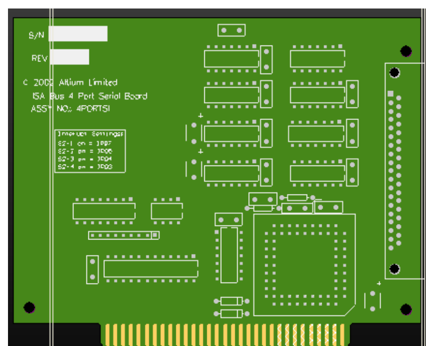



图 7-12　PCB 缩略图显示窗口

5．“PCB”下拉列表框

“PCB”下拉列表框中有 3 个选项，功能分别如下：

- “Normal（正常）”选项：表示在显示对象时正常显示其他未选中的对象。
- “Mask（遮挡）”选项：表示在显示对象时遮挡其他未选中的对象。遮挡程度可在工作窗口右下角的“Mask level（透明度）”标签中进行设置。
- “Dim（变暗）”选项：表示在显示对象时按比例降低亮度，显示其他未选中的对象。

# 7.4 电路板物理结构及编辑环境参数设置

对于手动生成的 PCB，在进行 PCB 设计前，必须对电路板的各种属性进行详细的设置，主要包括板形的设置、PCB 图样的设置、电路板层的设置、层的显示设置、颜色的设置、布线框的设置、PCB 系统参数的设置及 PCB 设计工具栏的设置等。

## 7.4.1 电路板物理边框的设置

1．边框线的设置

电路板的物理边界即为 PCB 的实际大小和形状，板形的设置是在“Mechanical 1（机械层 1）”上进行的。具体的操作步骤如下：

Step1 新建一个 PCB 文件，使之处于当前的工作窗口中，如图 7-13 所示。

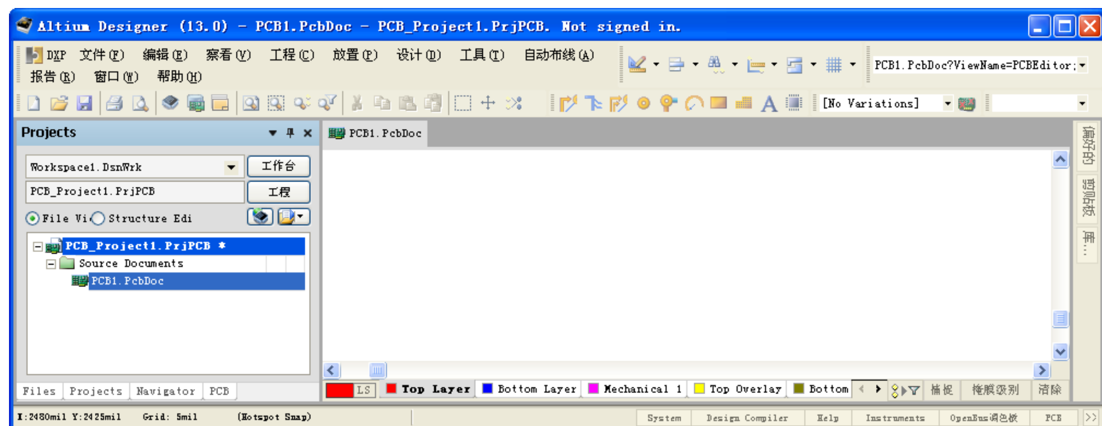



图 7-13 新建的 PCB 文件

默认的 PCB 图为带有栅格的黑色区域，包括以下 6 个工作层面。

- 两个信号层 Top Layer（顶层）和 Bottom Layer（底层）：用于建立电气连接的铜箔层。
- Mechanical 1（机械层）：用于设置 PCB 与机械加工相关的参数，以及用于 PCB 3D 模型放置与显示。

- Top Overlay（丝印层）：用于添加电路板的说明文字。
- Keep-Out Layer（禁止布线层）：用于设立布线范围，支持系统的自动布局和自动布线功能。
- Multi-Layer（多层同时显示）：可实现多层叠加显示，用于显示与多个电路板层相关的 PCB 细节。

Step2 单击工作窗口下方“Mechanical 1（机械层 1）”标签，使该层面处于当前工作窗口中。

Step3 单击菜单栏中的“放置”→“走线”命令，此时光标变成十字形状。然后将光标移到工作窗口的合适位置，单击即可进行线的放置操作，每单击一次就确定一个固定点。通常将板的形状定义为矩形，但在特殊的情况下，为了满足电路的某种特殊要求，也可以将板形定义为圆形、椭圆形或者不规则的多边形。这些都可以通过“放置”菜单来完成。

Step4 当放置的线组成了一个封闭的边框时，就可结束边框的绘制。右击或者按 Esc 键退出该操作，绘制好的 PCB 边框如图 7-14 所示。

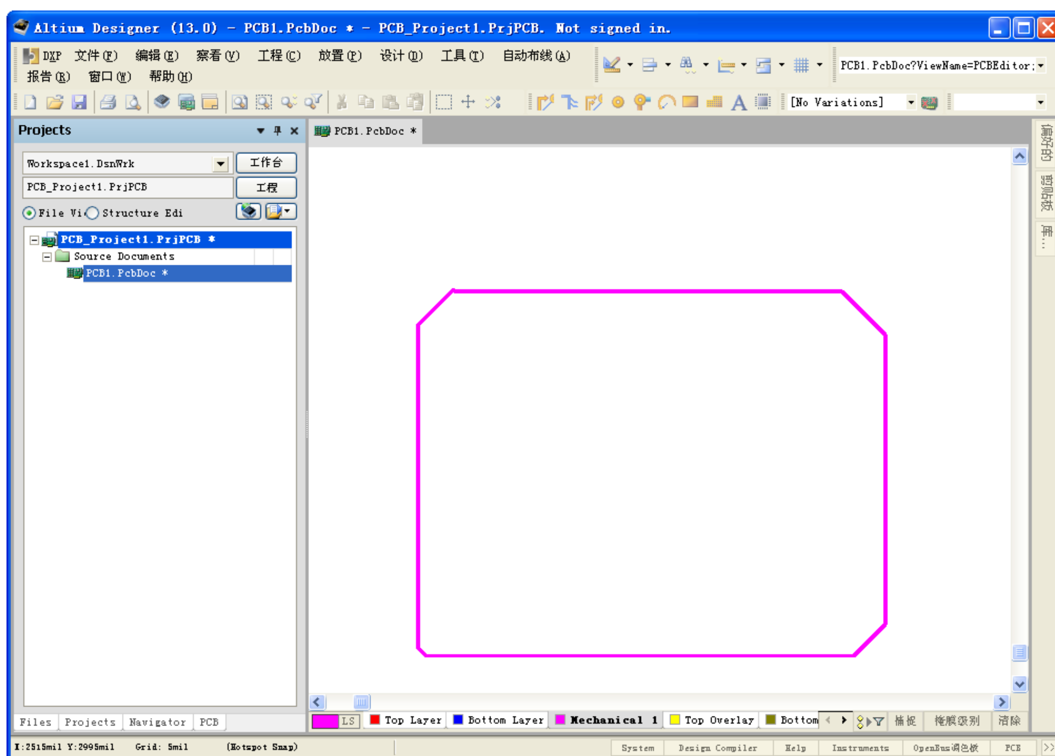



图 7-14　绘制好的 PCB 边框

Step5 设置边框线属性。双击任一边框线即可弹出该边框线的设置对话框，如图 7-15 所示。为了确保 PCB 图中边框线为封闭状态，可以在该对话框中对线的起始和结束点进行设置，使一段边框线的终点为下一段边框线的起点。其主要选项的含义如下：

- “层”下拉列表框：用于设置该线所在的电路板层。用户在开始画线时可以不选择“Mechanical 1”层，在此处进行工作层的修改也可以实现上述操作所达到的效果，

只是这样需要对所有边框线段进行设置，操作起来比较麻烦。

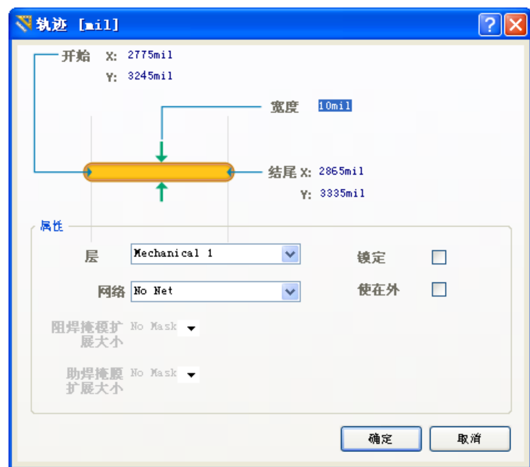



图 7-15　设置边框线

- “网络”下拉列表框：用于设置边框线所在的网络。通常边框线不属于任何网络，即不存在任何电气特性。
- “锁定”复选框：勾选该复选框时，边框线将被锁定，无法对该线进行移动等操作。
- “使在外”复选框：用于定义该边框线属性是否为“Keepout（使在外）”。具有该属性的对象被定义为板外对象，将不出现在系统生成的“Gerber”文件中。

单击“确定”按钮，完成边框线的属性设置。

2．板形的修改

对边框线进行设置的主要目的是给制板商提供加工电路板形状的依据。也可以在设计时直接修改板形，即在工作窗口中可直接看到自己所设计的电路板的外观形状，然后对板形进行修改。板形的设置与修改主要通过“设计”菜单中的“板子形状”子菜单来完成，如图 7-16 所示。

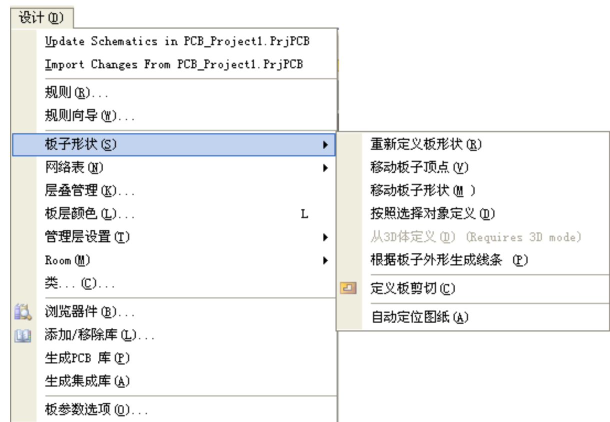



图 7-16　“板子形状”子菜单

（1）重新定义板形

Step1 单击菜单栏中的“设计”→“板子形状”→“重新定义板形”命令，此时光标将变成十字形状，工作窗口显示出绿色的电路板。

Step2 移动光标到电路板上，单击确定起点，然后移动光标多次单击确定多个固定点，以重新设定电路板的尺寸，如图 7-17 所示。当绘制的边框未封闭时，系统将自动连接起始点和结束点以完成电路板形状的定义。

Step3 右击或者按 Esc 键退出该操作。重新定义以后，电路板的可视栅格会自动调整以满足显示电路板尺寸确定的区域。

（2）移动板子顶点

Step1 单击菜单栏中的“设计”→“板子形状”→“移动板子顶点”命令，此时光标将变成十字形状，同时工作窗口将以绿色显示电路板，边框线显示出多个可以拖动的固定节点。

Step2 拖动任何一个节点即可改变电路板的形状，如图 7-18 所示。




图 7-17 重新定义电路板的尺寸

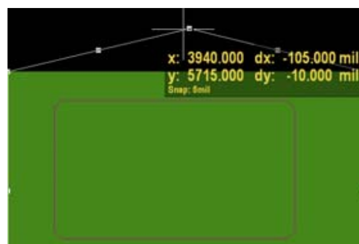



图 7-18 移动板边框线的节点

Step3 右击或者按 Ese 键退出该操作。

（3）移动板子顶点

Step1 单击菜单栏中的“设计”→“板子形状”→“移动板子顶点”命令，此时光标将变成十字形状，一个虚线框悬浮在光标上，同时工作窗口以绿色显示电路板，如图 7-19 所示。

Step2 移动光标到合适的位置，单击即可完成电路板的移动。

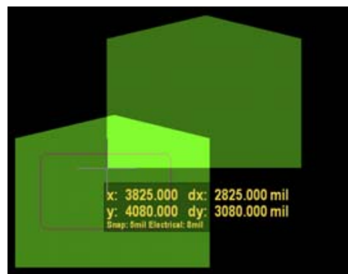



图 7-19 移动电路板

（4）按照选定对象定义

在机械层或其他层可以利用线条或圆弧定义一个内嵌的边界，以新建对象为参考重新定义板形。具体的操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“放置”→“圆弧”命令，在电路板上绘制一个圆，如图 7-20 所示。

Step2 选中已绘制的圆，然后单击菜单栏中的“设计”→“板子形状”→“按照选定对象定义”命令，电路板将变成圆形，如图 7-21 所示。

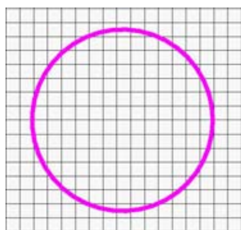


图 7-20　绘制一个圆

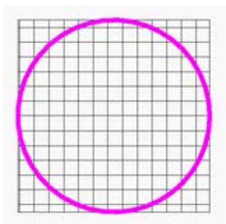


图 7-21　定义后的板形

## 7.4.2　电路板图样的设置

与原理图一样，用户也可以对电路板图样进行设置，默认状态下的图样是不可见的。大多数 Altium Designer 13 附带的例子是将电路板显示在一个白色的图样上，与原理图图样完全相同。图样大多被绘制在“Mechanical 16”上，图样的设置主要有以下两种方法。

1．通过“板选项”进行设置

单击菜单栏中的“设计”→“ 板参数选项”命令，或用快捷键 D+O，弹出“板选项”对话框，如图 7-22 所示。




图 7-22　“板选项”对话框

其中各选项组的功能如下：

- “度量单位”选项组：用于设置 PCB 中的度量单位。考虑到目前的电子元件封装尺寸以英制单位为主，以公制单位描述封装信息的元件很少，因此建议选择英制单位“Imperial（英制）”。
- “图样位置”选项组：用于设置 PCB 图样。从上到下依次可对图样在 X 轴的位置、Y 轴的位置、图样的宽度、图样的高度、图样的显示状态及图样的锁定状态等属性

进行设置，参照原理图图样的光标定位方法对图样的大小进行合适的设置。对图样进行设置后，勾选“显示页面”复选框即可在工作窗口中显示图样。

图样信息设置完成后单击“确定”按钮。

2. 从一个 PCB 模板中添加一个新的图样

Altium Designer 13 拥有一系列预定义的 PCB 模板，主要存放在安装目录“Altium \AD 10\Templates”下。从 PCB 模板中添加新图样的操作步骤如下：

Step1 单击需要进行图样操作的 PCB 文件，使之处于当前工作窗口中。

Step2 单击菜单栏中的“文件”→“打开”命令，弹出如图 7-23 所示的“Choose Document to Open（选择打开文件）”对话框，选中打开路径下的一个模板文件。

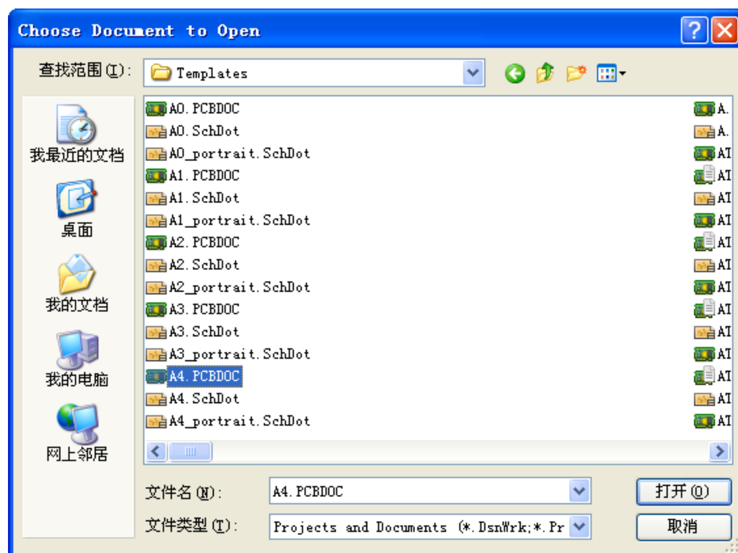



图 7-23 “Choose Document to Open”对话框

Step3 单击“打开”按钮，即可将模板文件导入到工作窗口中，如图 7-24 所示。

Step4 用光标拉出一个矩形框，选中该模板文件，单击菜单栏中的“编辑”→“拷贝”命令，进行复制操作。然后切换到要添加图样的 PCB 文件，单击菜单栏中的“编辑”→“粘贴”命令，进行粘贴操作，此时光标变成十字形状，同时图样边框悬浮在光标上。

Step5 选择合适的位置，然后单击即可放置该模板文件。新页面的内容将被放置到“Mechanical 16”层，但此时并不可见。

Step6 单击菜单栏中的“设计”→“板层颜色”命令，系统将弹出如图 7-25 所示的“视图配置”对话框。在该对话框的右上角“Mechanical 16”层中勾选“展示、”“使能”和“连接到方块电路”复选框，然后单击“确定”按钮，完成“Mechanical 16”层与图样的连接。

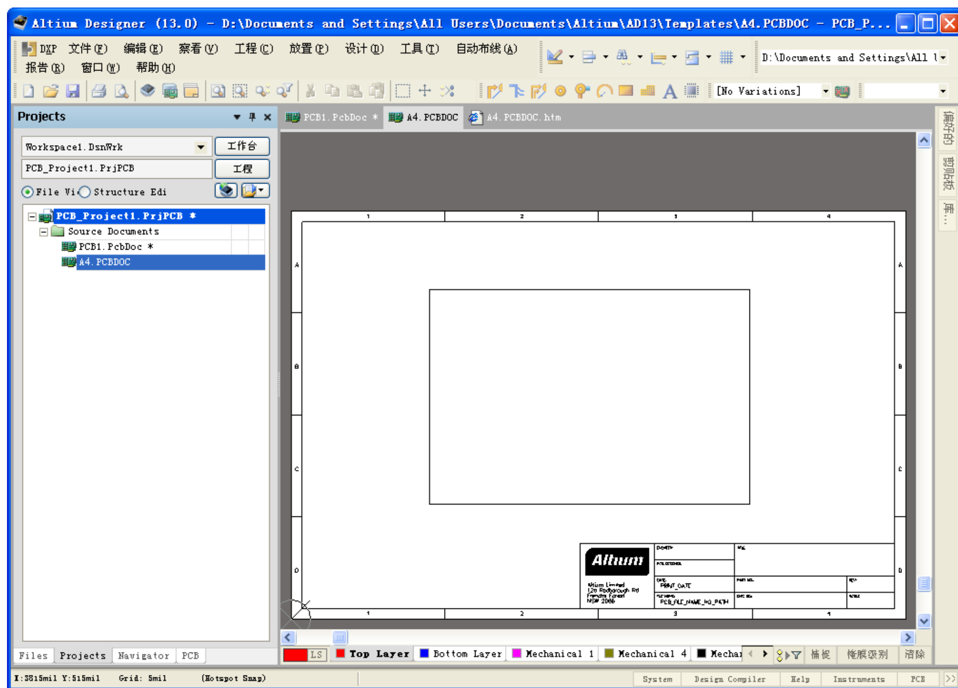


图 7-24 导入 PCB 模板文件

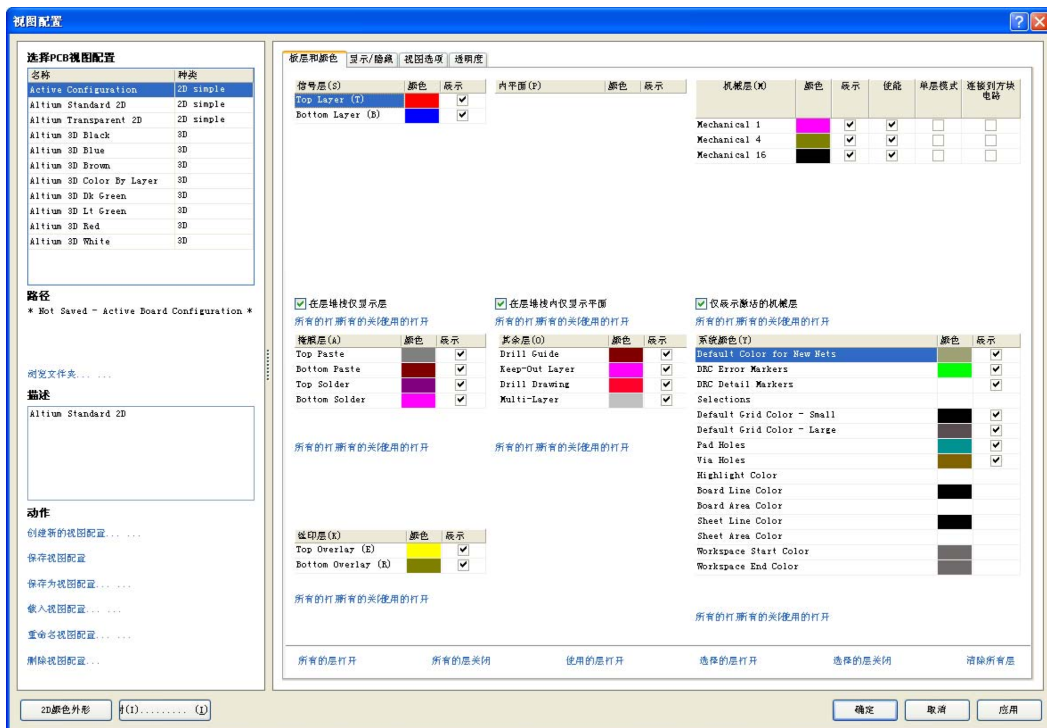


图 7-25 “视图配置”对话框

Step7 单击菜单栏中的“察看”→“合适图样”命令，此时图样被重新定义了尺寸，

与导入的 PCB 图样边界范围正好相匹配。如果使用 V+S 或 Z+S 键重新观察图样，就可以看见新的页面格式已经启用了。

### 7.4.3 电路板层的设置

1. 电路板的分层

PCB 一般包括很多层，不同的层包含不同的设计信息。制板商通常会将各层分开制作，然后经过压制、处理，最后生成各种功能的电路板。

Altium Designer 13 提供了以下 6 种类型的工作层：

（1）Signal Layers（信号层）：即铜箔层，用于完成电气连接。Altium Designer 13 允许电路板设计 32 个信号层，分别为 Top Layer、Mid Layer 1、Mid Layer 2…Mid Layer 30 和 Bottom Layer，各层以不同的颜色显示。

（2）Internal Planes（中间层，也称内部电源与地线层）：也属于铜箔层，用于建立电源和地线网络。系统允许电路板设计 16 个中间层，分别为 Internal Layer 1、Internal Layer 2…Internal Layer 16，各层以不同的颜色显示。

（3）Mechanical Layers（机械层）：用于描述电路板机械结构、标注及加工等生产和组装信息所使用的层面，不能完成电气连接特性，但其名称可以由用户自定义。系统允许 PCB 板设计包含 16 个机械层，分别为 Mechanical Layer 1、Mechanical Layer 2…Mechanical Layer 16，各层以不同的颜色显示。

（4）Mask Layers（阻焊层）：用于保护铜线，也可以防止焊接错误。系统允许 PCB 设计包含 4 个阻焊层，即 Top Paste（顶层锡膏防护层）、Bottom Paste（底层锡膏防护层）、Top Solder（顶层阻焊层）和 Bottom Solder（底层阻焊层），分别以不同的颜色显示。

（5）Silkscreen Layers（丝印层）：也称图例（legend），通常该层用于放置元件标号、文字与符号，以标示出各零件在电路板上的位置。系统提供有两层丝印层，即 Top Overlay（顶层丝印层）和 Bottom Overlay（底层丝印层）。

（6）“Other Layers”（其他层）。

- Drill Guides（钻孔）和 Drill Drawing（钻孔图）：用于描述钻孔图和钻孔位置。
- Keep-Out Layer（禁止布线层）：用于定义布线区域，基本规则是元件不能放置于该层上或进行布线。只有在这里设置了闭合的布线范围，才能启动元件自动布局和自动布线功能。
- Multi-Layer（多层）：该层用于放置穿越多层的 PCB 元件，也用于显示穿越多层的机械加工指示信息。

单击菜单栏中的“设计”→“板层颜色”命令，在弹出的“视图配置”对话框中取消对中间 3 个复选框的勾选即可看到系统提供的所有层，如图 7-26 所示。

2. 常见层数不同的电路板

（1）Single-Sided Boards（单面板）：PCB 上元件集中在其中的一面，导线集中在另一面。因为导线只出现在其中的一面，所以就称这种 PCB 板为单面板（Single-Sided Boards）。

在单面板上通常只有底面也就是 Bottom Layer（底层）覆盖铜箔，元件的引脚焊在这一面上，通过铜箔导线完成电气特性的连接。顶层也就是 Top Layer 是空的，安装元件的一面，称为“元件面”。因为单面板在设计线路上有许多严格的限制（因为只有一面可以布线，所以布线间不能交叉而必须以各自的路径绕行），布通率往往很低，所以只有早期的电路及一些比较简单的电路才使用这类的电路板。

（2）Double-Sided Boards（双面板）：这种电路板的两面都可以布线，不过要同时使用两面的布线就必须在两面之间有适当的电路连接才行，这种电路间的“桥梁”叫作过孔（via）。过孔是在 PCB 上充满或涂上金属的小洞，它可以与两面的导线相连接。在双层板中通常不区分元件面和焊接面，因为两个面都可以焊接或安装元件，但习惯上称 Bottom Layer（底层）为焊接面，Top Layer（顶层）为元件面。因为双面板的面积比单面板大一倍，而且布线可以互相交错（可以绕到另一面），因此它适用于比单面板复杂的电路上。相对于多层板而言，双面板的制作成本不高，在给定一定面积的时候通常都能 100%布通，因此一般的印制板都采用双面板。

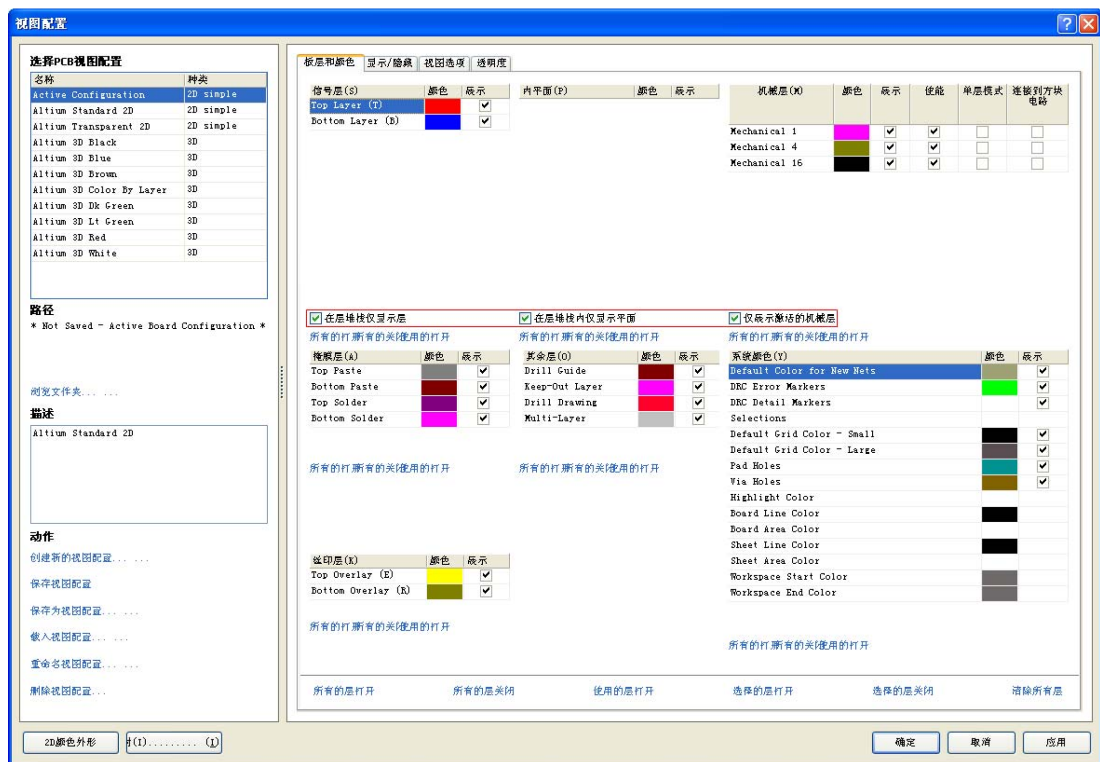



图 7-26　系统所有层的显示

（3）Multi-Layer Boards（多层板）：常用的多层板有 4 层板、6 层板、8 层板和 10 层板等。简单的 4 层板是在 Top Layer（顶层）和 Bottom Layer（底层）的基础上增加了电源层和地线层，这样一方面极大程度地解决了电磁干扰问题，提高了系统的可靠性，另一方面可以提高导线的布通率，缩小 PCB 板的面积。6 层板通常是在 4 层板的基础上增加了 Mid-Layer 1 和 Mid-Layer 2 两个信号层。8 层板通常包括 1 个电源层、两个地线层、5 个信号层(Top Layer、

Bottom Layer、Mid-Layer 1、Mid-Layer 2 和 Mid-Layer 3)。

多层板层数的设置是很灵活的，设计者可以根据实际情况进行合理的设置。各种层的设置应尽量满足以下要求：

- 元件层的下面为地线层，它提供器件屏蔽层及为顶层布线提供参考层。
- 所有的信号层应尽可能地与地线层相邻。
- 尽量避免两信号层直接相邻。
- 主电源应尽可能地与其对应地相邻。
- 兼顾层结构对称。

3．电路板层数设置

在对电路板进行设计前可以对电路板的层数及属性进行详细的设置。这里所说的层主要是指 Signal Layers（信号层）、Internal Plane Layers（电源层和地线层）和 Insulation（Substrate） Layers（绝缘层）。

电路板层数设置的具体操作步骤如下：

单击菜单栏中的“设计”→“ 层叠管理”命令，系统将弹出如图 7-27 所示的“层堆栈管理器”对话框。在该对话框中可以增加层、删除层、移动层所处的位置及对各层的属性进行设置。

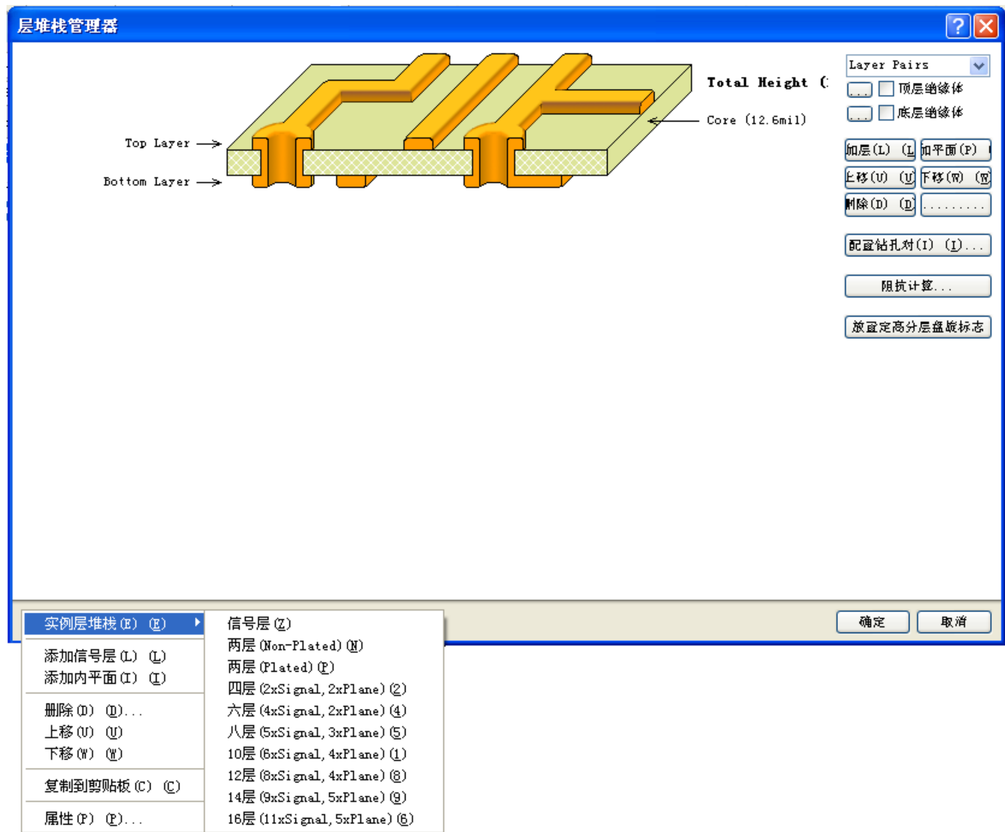



图 7-27 “层堆栈管理器”对话框

Step1 对话框的中心显示了当前 PCB 图的层结构。默认设置为双层板，即只包括 Top Layer（顶层）和 Bottom Layer（底层）两层。用户可以单击“添加层”按钮添加信号层、电源层和地层，单击“添加平面”按钮添加中间层。选定某一层为参考层，执行添加新层的操作时，新添加的层将出现在参考层的下面。当勾选“底层绝缘体”复选框时，添加层则出现在底层的上面。

Step2 双击某一层的名称或选中该层，单击“属性”按钮就可以打开该层的属性设置对话框，然后可对该层的名称及铜箔厚度进行设置。

Step3 添加新层后，单击“上移”按钮或“下移”按钮，可以改变该层在所有层中的位置。在设计过程的任何时间都可进行添加层的操作。

Step4 选中某一层后单击“删除”按钮即可删除该层。

Step5 单击“菜单”按钮或在该对话框的任意空白处右击，即可弹出一个“菜单”菜单，如图 7-27 中所示。此菜单中的大部分命令均可通过对话框右侧的按钮进行操作。“实例层堆栈”命令提供了常用不同层数的电路板层数设置，可以直接选择进行快速板层设置。

Step6 PCB 设计中最多可添加 32 个信号层、16 个电源层和地线层。各层的显示与否可在“视图配置”对话框中进行设置，勾选各层中的“显示”复选框即可。

Step7 设置层的堆叠类型。电路板的层叠结构中不仅包括拥有电气特性的信号层，还包括无电气特性的绝缘层。两种典型绝缘层主要是指 Core（填充层）和 Prepreg（塑料层）。

层的堆叠类型主要是指绝缘层在电路板中的排列顺序，默认的 3 种堆叠类型包括 Layer Pairs（Core 层和 Prepreg 层自上而下间隔排列）、Internal Layer Pairs（Prepreg 层和 Core 层自上而下间隔排列）和 Build-up（顶层和底层为 Core 层，中间全部为 Prepreg 层）。改变层的堆叠类型将会改变 Core 层和 Prepreg 层在层栈中的分布，只有在信号完整性分析需要用到盲孔或深埋过孔的时候才需要进行层的堆叠类型的设置。

Step8 设置电路板层属性。

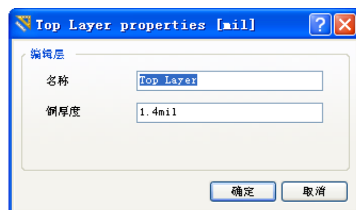



图 7-28　设置信号层属性

- 信号层：信号层属性设置对话框如图 7-28 所示。用户可以自定义信号层的名称和铜箔的厚度（Copper thickness），铜箔厚度的定义主要用于进行信号完整性分析。
- 电源层：电源层属性设置对话框如图 7-29 所示。用户可以自定义“名称”，“铜厚度”主要用于进行信号完整性分析，“网络名”指连接到此层的网络名称，“障碍物”指将内部电源层铜箔的外围尺寸限制在整个电路板形状内部的铜箔导线。对于所设计的每一个内部电源层，一系列障碍物导线将自动地创建在板框周围。这些线在屏幕上不可以编辑，建立的障碍物线事实上是原来设置宽度的两倍。即如果设置的障碍物导线的宽度值为 20mil，那么在内部电源层边框外面有 20mil 的铺铜，在边框的里面也有 20mil 的铺铜。
- 绝缘层：绝缘层属性设置对话框如图 7-30 所示。“材料”表示材料的类型，“厚度”表示绝缘层的厚度，“电介质常数”表示绝缘体的介电常数。绝缘层的厚度和绝缘体的介电常数主要用于进行信号完整性分析。

Step9 单击“层堆栈管理器”对话框中的“配置钻孔对”按钮设置钻孔。

Step10 单击“层堆栈管理器”对话框中的“阻抗计算”按钮计算阻抗。

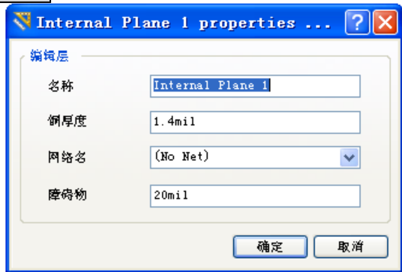



图 7-29　设置电源层属性

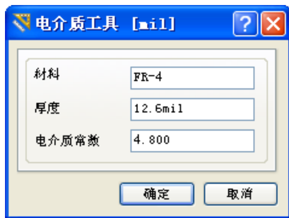



图 7-30　设置绝缘层属性

## 7.4.4　电路板层显示与颜色设置

PCB 编辑器采用不同的颜色显示各个电路板层，以便于区分。用户可以根据个人习惯进行设置，并且可以决定是否在编辑器内显示该层。下面通过实际操作介绍 PCB 层颜色的设置，首先打开“视图配置”对话框，有以下 3 种方法：

（1）单击菜单栏中的“设计”→“板层颜色”命令。

（2）在工作窗口右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“选项”→“板层颜色”命令。

（3）按快捷键 L。

系统弹出“视图配置”对话框，如图 7-31 所示。该对话框包括电路板层颜色设置和系统默认设置颜色的显示两部分。

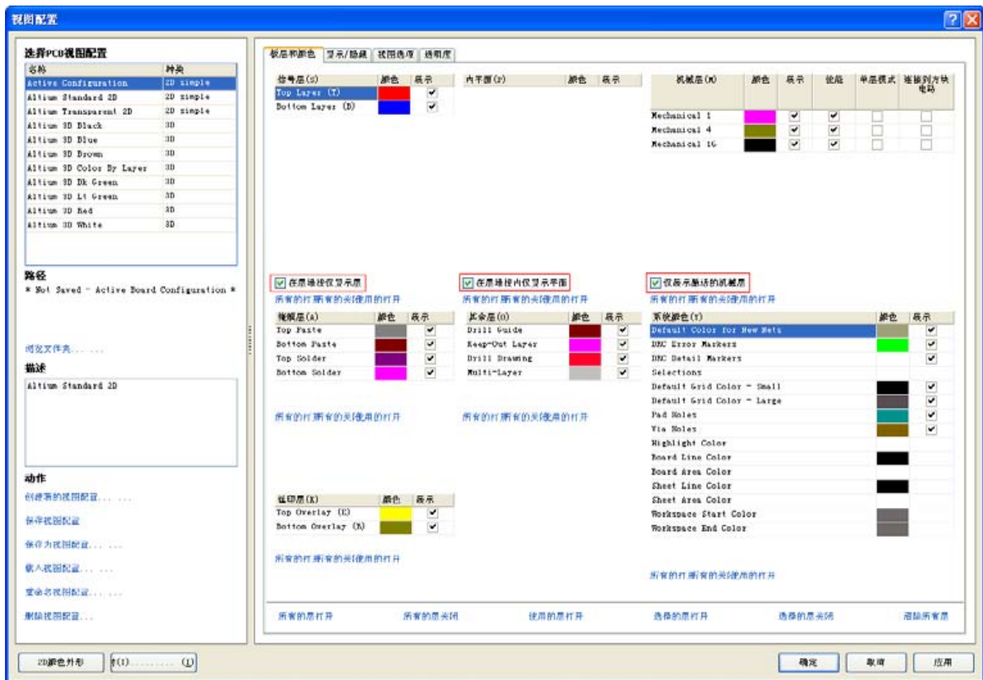



图 7-31　“视图配置”对话框

在“板层颜色”选项卡中，包括在层堆栈仅显示层”、“在层堆栈内显示平面”和“仅展示激活的机械层”3 个复选框，它们分别对应其上方的信号层、电源层和地线层、机械层。这 3 个复选框决定了在“视图配置”对话框中是显示全部的层面，还是只显示图层堆栈管理器中设置的有效层面。一般为使对话框简洁明了，勾选这 3 个复选框只显示有效层面，对未用层面可以忽略其颜色设置。

在各个设置区域中，“颜色”设置栏用于设置对应电路板层的显示颜色。“显示”复选框用于决定此层是否在 PCB 编辑器内显示。如果要修改某层的颜色，单击其对应的“颜色”设置栏中的颜色显示框，即可在弹出的“2D 系统颜色”对话框中进行修改。如图 7-32 所示是修改“Keep-Out Layer（层外）”颜色的“2D 系统颜色”对话框。

在图 7-31 中，单击“所有的层打开”按钮，则所有层的“显示”复选框都处于勾选状态。相反，如果单击“所有的层关闭”按钮，则所有层的“显示”复选框都处于未勾选的状态。单击“使用的层打开”按钮，则当前工作窗口中所有使用层的“显示”复选框处于勾选状态。在该对话框中选择某一层，然后单击“选择的层打开”按钮，即可勾选该层的“显示”复选框；如果单击“选择的层关闭”按钮，即可取消对该层“显示”复选框的勾选；如果单击“清除所有层”按钮，即可清除对话框中层的勾选状态。

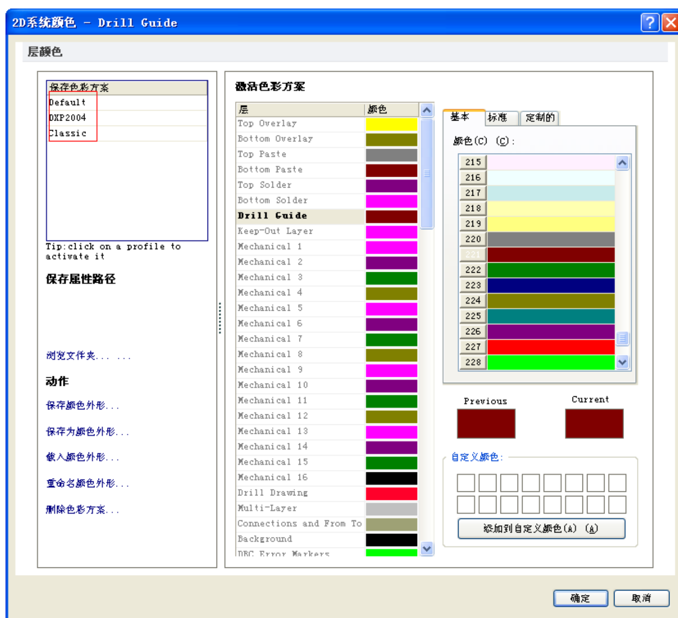



图 7-32 “2D 系统颜色”对话框

## 7.4.5 PCB 布线区的设置

对布线区进行设置的主要目的是为自动布局和自动布线做准备。通过菜单栏中的“文件”→“New（新建）”→“PCB”命令或通过模板创建的 PCB 文件只有一个默认的板形，并无布线区，因此用户如果要使用 Altium Designer 13 系统提供的自动布局和自动布线功能，就需要自己创建一个布线区。

创建布线区的操作步骤如下：

Step1 单击工作窗口下方的“Keep-out Layer（禁止布线层）”标签，使该层处于当前的工作窗口中。

Step2 单击菜单栏中的“放置”→“禁止布线”→“线径”命令，此时光标变成十字形状。移动光标到工作窗口，在禁止布线层上创建一个封闭的多边形。这里使用的“禁止布线”命令与对象属性设置对话框中“使在外”复选框的作用是相同的，即表示不属于板内的对象。

Step3 完成布线区的设置后，右击或者按 Esc 键即可退出该操作。

布线区设置完毕后，进行自动布局操作时可将元件自动导入到该布线区中。

## 7.5 在 PCB 文件中导入原理图网络表信息

网络表是原理图与 PCB 图之间的联系纽带，原理图和 PCB 图之间的信息可以通过在相应的 PCB 文件中导入网络表的方式完成同步。在执行导入网络表的操作之前，需要在 PCB 设计环境中装载元件的封装库及对同步比较器的比较规则进行设置。

### 7.5.1 装载元件封装库

由于 Altium Designer 13 采用的是集成的元件库，因此对于大多数设计来说，在进行原理图设计的同时便装载了元件的 PCB 封装模型，一般可以省略该项操作。但 Altium Designer 13 同时也支持单独的元件封装库，只要 PCB 文件中有一个元件封装不是在集成的元件库中，用户就需要单独装载该封装所在的元件库。元件封装库的添加与原理图中元件库的添加步骤相同，这里不再赘述。

### 7.5.2 设置同步比较规则

同步设计是 Protel 系列软件中实现绘制电路图最基本的方法，这是一个非常重要的概念。对同步设计概念最简单的理解就是原理图文件和 PCB 文件在任何情况下保持同步。实现这个目的的最终方法是用同步器来实现，这个概念就称之为同步设计。

同步器的工作原理是检查当前的原理图文件和 PCB 文件，得出它们各自的网络报表并进行比较，比较后得出的不同网络信息将作为更新信息，然后根据更新信息便可以完成原理图设计与 PCB 设计的同步。同步比较规则能够决定生成的更新信息，因此要完成原理图与 PCB 图的同步更新，同步比较规则的设置是至关重要的。

单击菜单栏中的“工程”→“优先选项”命令，系统将弹出“Options for PCB Project...（PCB 项目选项）”对话框，然后单击“Comparator（比较器）”选项卡，在该选项卡中可以对同步比较规则进行设置，如图 7-33 所示。单击“设置成安装缺省”按钮，将恢复软件安装时同步器的默认设置状态。单击“确定”按钮，即可完成同步比较规则的设置。

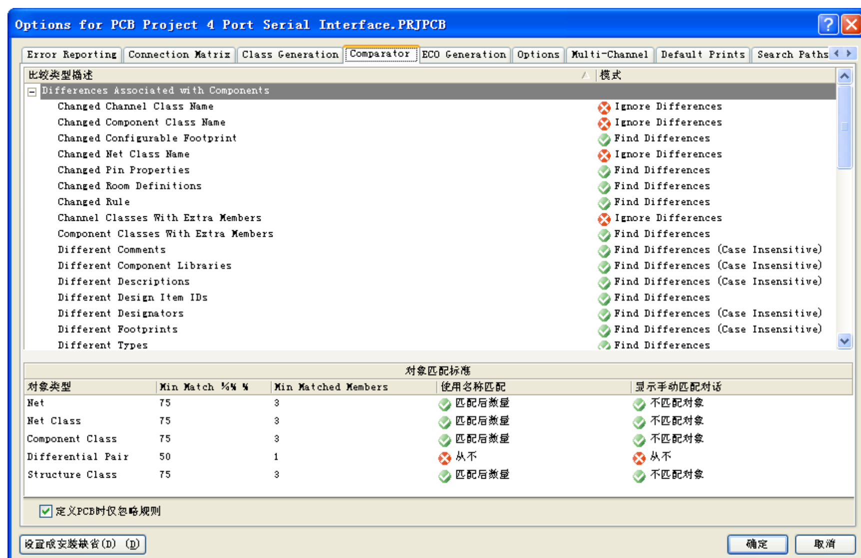



图 7-33　“Comparator”选项卡

## 7.5.3　导入网络报表

完成同步比较规则的设置后，即可进行网络表的导入工作。打开光盘中“yuanwenjian\ch_07\example”文件夹中最小单片机系统项目文件 “MCU.PrjPCB”，打开原理图文件“MCU Circuit.SchDoc”，原理图如图 7-34 所示，将原理图的网络表导入到当前的 PCB1 文件中，操作步骤如下：

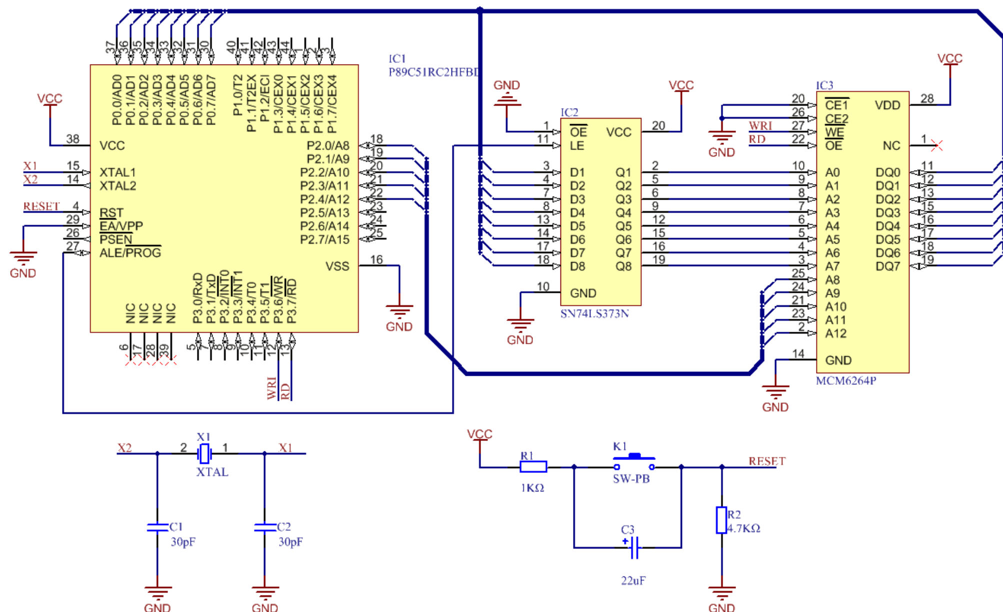



图 7-34　要导入网络表的原理图

Step1 打开“MCU Circuit.SchDoc”文件，使之处于当前的工作窗口中，同时应保证 PCB 1 文件也处于打开状态。

Step2 单击菜单栏中的“设计”\“Update PCB Document PCB1.PcbDoc（更新 PCB 文件）”命令，系统将对原理图和 PCB 图的网络报表进行比较并弹出一个“工程更改顺序”对话框，如图 7-35 所示。




图 7-35 “工程更改顺序”对话框

Step3 单击“生效更改”按钮，系统将扫描所有的更改操作项，验证能否在 PCB 上执行所有的更新操作。随后在可以执行更新操作的每一项所对应的“检查”栏中将显示标记，如图 7-36 所示。




图 7-36 PCB 中能实现的合乎规则的更新

- 标记：说明该项更改操作项都是合乎规则的。
- 标记：说明该项更改操作是不可执行的，需要返回到以前的步骤中进行修改，然后重新进行更新验证。

Step4 进行合法性校验后单击“执行更改”按钮，系统将完成网络表的导入，同时在每一项的“完成”栏中显示标记提示导入成功，如图 7-37 所示。

Step5 单击“关闭”按钮，关闭该对话框。此时可以看到在 PCB 图布线框的右侧出现了导入的所有元件的封装模型，如图 7-38 所示。该图中紫色边框为布线框，各元件之间仍保持着与原理图相同的电气连接特性。

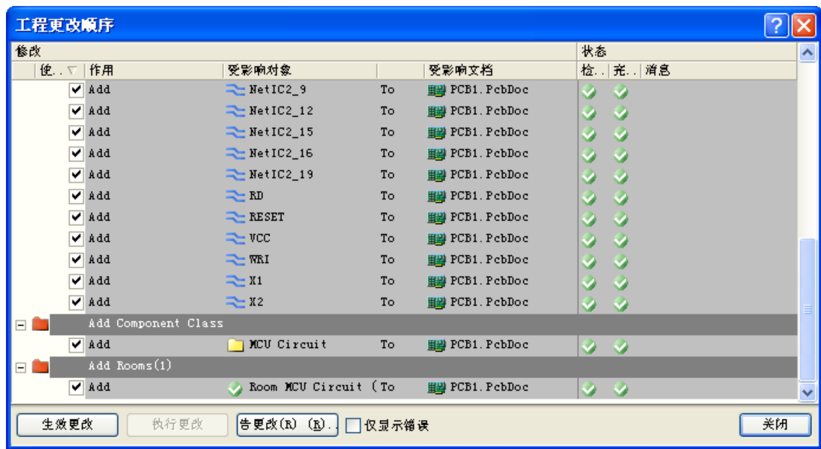



图 7-37　执行更新命令

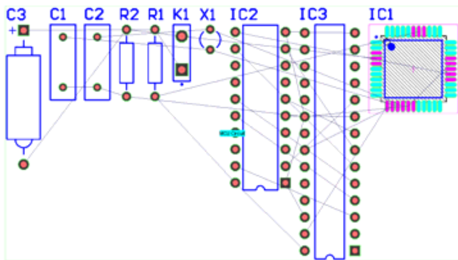



图 7-38　导入网络表后的 PCB 图

需要注意的是，导入网络表时，原理图中的元件并不直接导入到用户绘制的布线区内，而是位于布线区范围以外。通过随后执行的自动布局操作，系统自动将元件放置在布线区内。当然，用户也可以手动拖动元件到布线区内。

## 7.5.4　原理图与 PCB 图的同步更新

第一次执行导入网络报表操作时，完成上述操作即可完成原理图与 PCB 图之间的同步更新。如果导入网络表后又对原理图或者 PCB 图进行了修改，那么要快速完成原理图与 PCB 图设计之间的双向同步更新，可以采用下面的方法实现。

Step1 打开“PCB1.PcbDoc”文件，使之处于当前的工作窗口中。

Step2 单击菜单栏中的“设计”\“Update Schematic in MCU.PrjPcb（更新原理图）”命令，系统将对原理图和 PCB 图的网络报表进行比较，并弹出一个对话框，比较结果并提示用户确认是否查看二者之间的不同之处，如图 7-39 所示。

Step3 单击“Yes（是）”按钮，进入查看比较结果信息对话框，如图 7-40 所示。在该对话框中可以查看详细的比较结果，了解二者之间的不同之处。

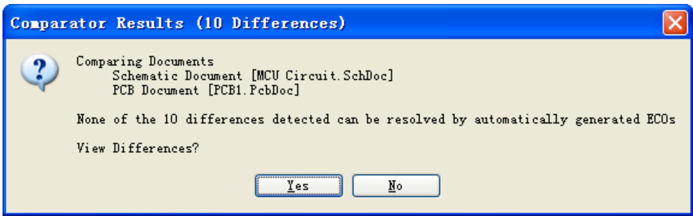



图 7-39　比较结果提示

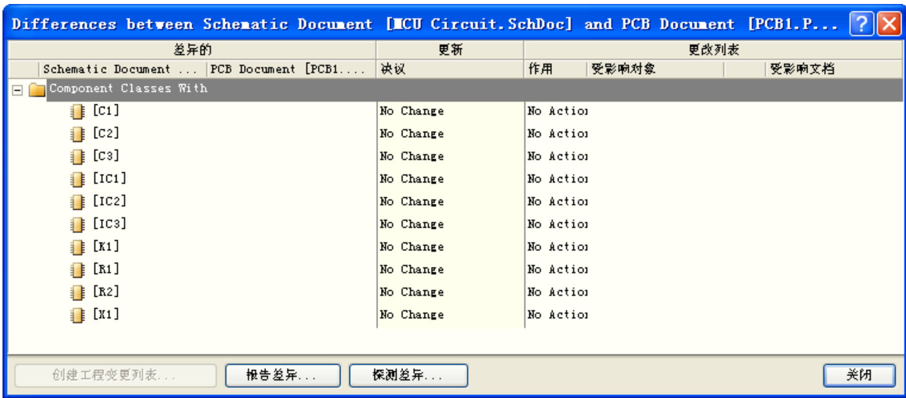



图 7-40　查看比较结果信息

Step4 单击某一项信息的“更新”选项，将弹出一个对话框，如图 7-41 所示。用户可以选择更新原理图或者更新 PCB 图，也可以进行双向的同步更新。单击“不更新”按钮或“取消”按钮，可以关闭该对话框而不进行任何更新操作。

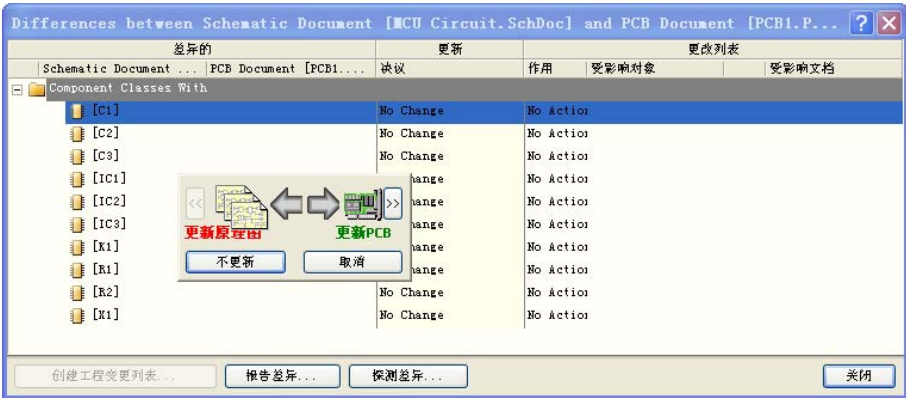



图 7-41　执行同步更新操作

Step5 单击“报告差异”按钮，系统将生成一个表格，如图 7-42 所示，从中可以预览原理图与 PCB 图之间的不同之处，同时可以对此表格进行导出或打印等操作。

Step6 单击“探测差异”按钮，弹出“Differences（不同）”面板，从中可查看原理图与 PCB 图之间的不同之处，如图 7-43 所示。

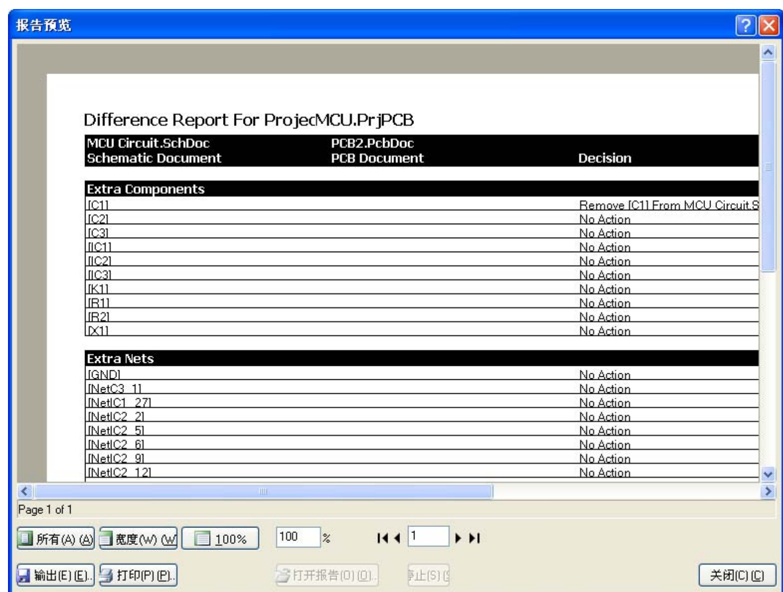



图 7-42　预览原理图

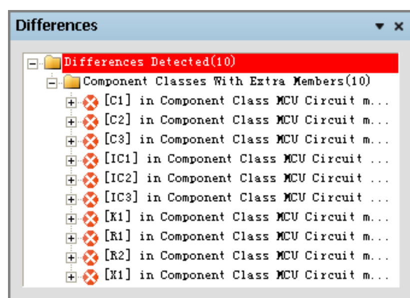



图 7-43　“Differences”面板

Step7 选择“更新原理图”进行原理图的更新，更新后对话框中将显示更新信息，如图 7-44 所示。

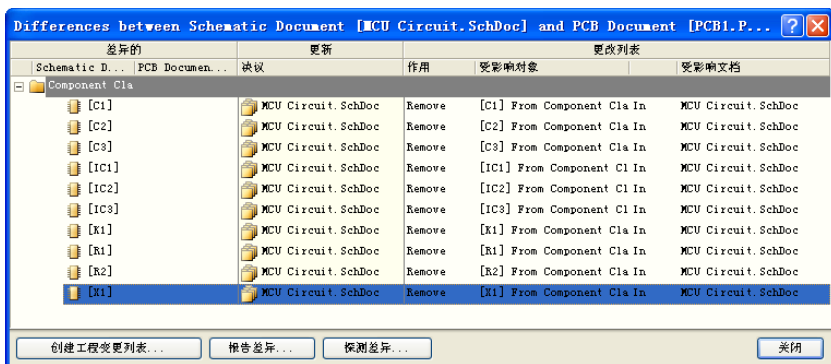



图 7-44　更新信息的显示

Step8 单击“创建工程更改规则”按钮，系统将弹出“工程更改规则”对话框，显示工程更新操作信息，完成原理图与 PCB 图之间的同步设计。与网络表的导入操作相同，单击“生效更改”按钮和“执行更改”按钮，即可完成原理图的更新。

除了通过单击菜单栏中的“设计”\“Update Schematic in My Project.PrjPcb”命令来完成原理图与 PCB 图之间的同步更新之外，单击菜单栏中的“工程”\“显示差异”命令也可以完成同步更新，这里不再赘述。

# 第 8 章

# PCB 的布局设计

在完成网络表的导入操作后,元件已经显示在工作窗口中了,此时就可以开始元件的布局。元件的布局是指将网络表中的所有元件放置在 PCB 板上，是 PCB 设计的关键一步。好的布局通常使具有电气连接的元件引脚比较靠近，这样可以使走线距离短，占用空间比较小，从而使整个电路板的导线能够易于连通，获得更好的布线效果。

电路布局的整体要求是整齐、美观、对称、元件密度均匀，这样才能使电路板的利用率最高，并且降低电路板的制作成本;同时设计者在布局时还要考虑电路的机械结构、散热、电磁干扰及将来布线的方便性等问题。元件的布局有自动布局和交互式布局两种方式，只靠自动布局往往达不到实际的要求，通常需要将两者结合以获得良好的效果。

## 知识点

- 自动布局的约束参数
- PCB 板的自动布局
- PCB 板的手动布局

# 8.1 元件的自动布局

Altium Designer 13 提供了强大的 PCB 自动布局功能，PCB 编辑器根据一套智能算法可以自动地将元件分开，然后放置到规划好的布局区域内并进行合理的布局。单击菜单栏中的“工具”→“器件布局”命令，其子菜单中包含了与自动布局有关的命令，如图 8-1 所示。




图 8-1 “器件布局”命令的子菜单

- “按照 Room 排列（空间内排列）”命令：用于在指定的空间内部排列元件。单击该命令后，光标变为十字形状，在要排列元件的空间区域内单击，元件即自动排列到该空间内部。
- “在矩形区域内排列”命令：用于将选中的元件排列到矩形区域内。使用该命令前，需要先将要排列的元件选中。此时光标变为十字形状，在要放置元件的区域内单击，确定矩形区域的一角，拖动光标，至矩形区域的另一角后再次单击。确定该矩形区域后，系统会自动将已选择的元件排列到矩形区域中来。
- “排列板子外的器件”命令：用于将选中的元件排列在 PCB 板的外部。使用该命令前，需要先将要排列的元件选中，系统自动将选择的元件排列到 PCB 范围以外的右下角区域内。
- “自动布局”命令：用于执行自动布局操作。
- “停止自动布局”命令：用于停止自动布局操作。
- “推挤”命令：用于推挤布局。推挤布局的作用是将重叠在一起的元件推开。即选择一个基准元件，当周围元件与基准元件存在重叠的情况时，则以基准元件为中心向四周推挤其他的元件；如果不存在重叠则不会执行推挤命令。
- “设置推挤深度”命令：用于设置推挤命令的深度，可以为 1～1000 之间的任意一个数字。
- “依据文件放置”命令：用于导入自动布局文件进行布局。

## 8.1.1 自动布局约束参数

在自动布局前，首先要设置自动布局的约束参数。合理地设置自动布局参数，可以使自动布局的结果更加完善，也就相对地减少了手动布局的工作量，节省了设计时间。

自动布局的参数在“PCB 规则及约束编辑器”对话框中进行设置。单击菜单栏中的“设计”→“规则”命令，系统将弹出“PCB 规则及约束编辑器”对话框。单击该对话框中的“Placement”（设置）标签，逐项对其中的选项进行参数设置。

（1）“Room Definition（空间定义规则）”选项：用于在 PCB 板上定义元件布局区域，如图 8-2 所示为该选项的设置对话框。在 PCB 板上定义的布局区域有两种，一种是区域中不

允许出现元件，一种则是某些元件一定要在指定区域内。在该对话框中可以定义该区域的范围（包括坐标范围与工作层范围）和种类。该规则主要用在线 DRC、批处理 DRC 和成群的放置项自动布局的过程中。

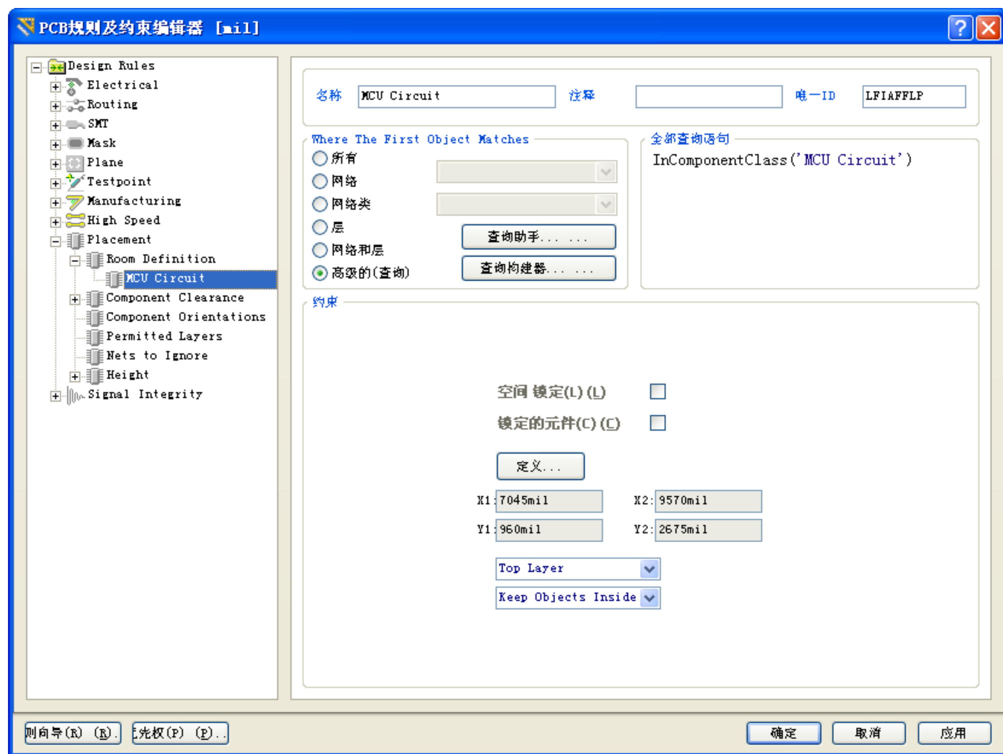



图 8-2　“Room Definition”选项设置对话框

其中各选项的功能如下：

- “空间锁定”复选框：勾选该复选框时，将锁定 Room 类型的区域，以防止在进行自动布局或手动布局时移动该区域。
- “锁定的元件”复选框：勾选该复选框时，将锁定区域中的元件，以防止在进行自动布局或手动布局时移动该元件。
- “定义”按钮：单击该按钮，光标将变成十字形状，移动光标到工作窗口中，单击可以定义 Room 的范围和位置。
- “x1”、“y1”文本框：显示 Room 最左下角的坐标。
- “x2”、“y2”文本框：显示 Room 最右上角的坐标。
- 最后两个下拉列表框中列出了该 Room 所在的工作层及对象与此 Room 的关系。

（2）“Component Clearance（元件间距限制规则）”选项：用于设置元件间距，如图 8-3 所示为该选项的设置对话框。在 PCB 板可以定义元件的间距，该间距会影响到元件的布局。

- “无限”单选钮：用于设定最小水平间距，当元件间距小于该数值时将视为违例。
- “指定的”单选钮：用于设定最小水平和垂直间距，当元件间距小于这个数值时将视为违例。

（3）“Component Orientations（元件布局方向规则）”选项：用于设置 PCB 板上元件允许旋转的角度，如图 8-4 所示为该选项设置内容，在其中可以设置 PCB 板上所有元件允许使用的旋转角度。

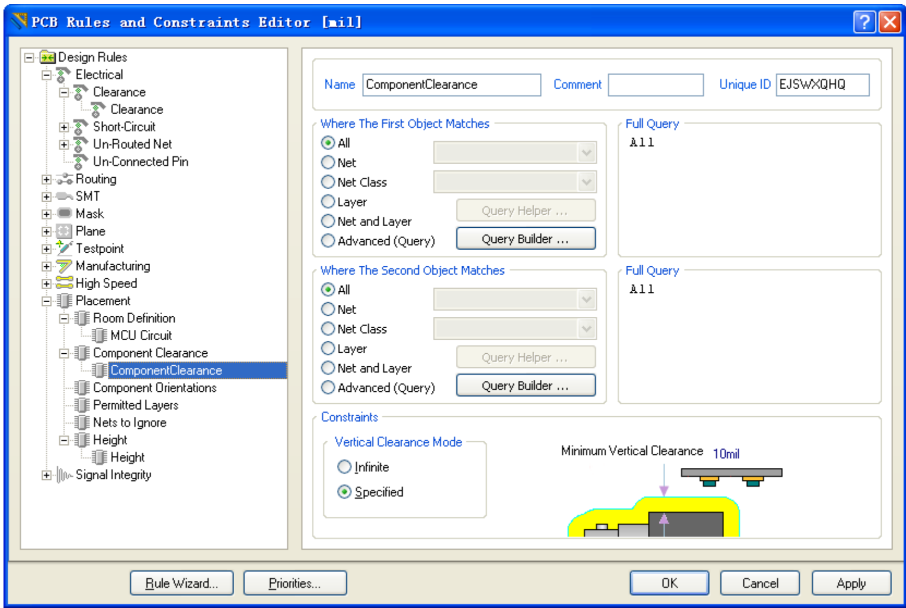



图 8-3 “Component Clearance”选项设置对话框

（4）“Permitted Layers（电路板工作层设置规则）”选项：用于设置 PCB 板上允许放置元件的工作层，如图 8-5 所示为该选项设置内容。PCB 板上的底层和顶层本来是都可以放置元件的，但在特殊情况下可能有一面不能放置元件，通过设置该规则可以实现这种需求。




图 8-4 “Component Orientations”选项设置　　图 8-5 “Permitted Layers”选项设置

（5）“Nets To Ignore（网络忽略规则）”选项：用于设置在采用成群的放置项方式执行元件自动布局时需要忽略布局的网络。忽略电源网络将加快自动布局的速度，提高自动布局的质量。如果设计中有大量连接到电源网络的双引脚元件，设置该规则可以忽略电源网络的布局并将与电源相连的各个元件归类到其他网络中进行布局。

（6）“Height（高度规则）”选项：用于定义元件的高度。在一些特殊的电路板上进行布局操作时，电路板的某一区域可能对元件的高度要求很严格，此时就需要设置该规则。如图 8-6 所示为该选项的设置对话框，主要有“最小的”、“首选的”和“最大的”3 个可选择的设置选项。

元件布局的参数设置完毕后，单击“确定”按钮，保存规则设置，返回 PCB 编辑环境。

接着就可以采用系统提供的自动布局功能进行 PCB 板元件的自动布局了。

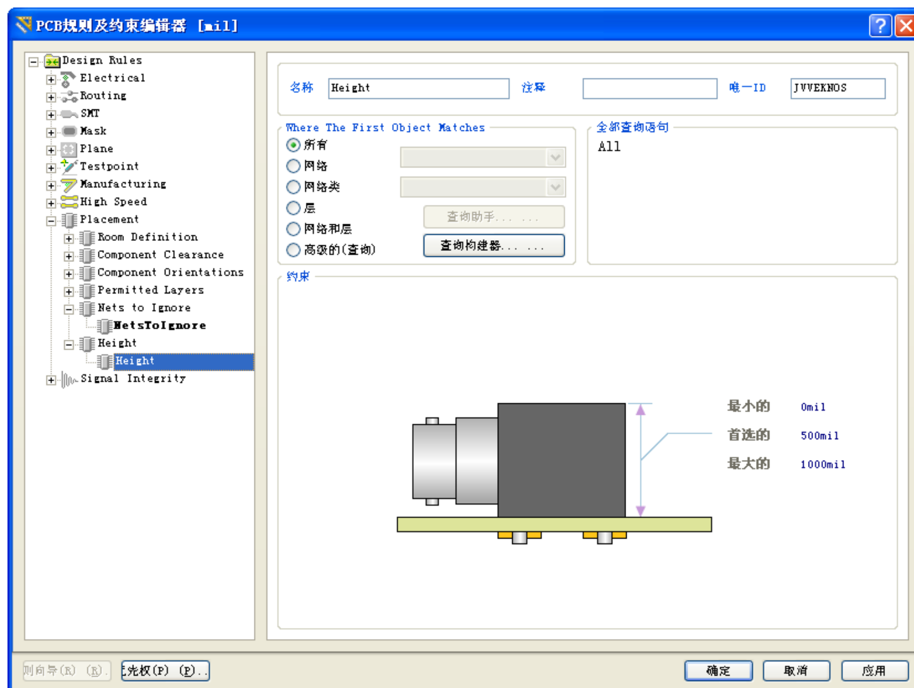



图 8-6 “Height”选项设置对话框

## 8.1.2 元件的自动布局

打开光盘中“yuanwenjian\ch_08\example”文件夹，这里以前面章节中绘制的如图 8-7 所示的“电脑麦克风电路原理图.SchDoc”为例，介绍元件的自动布局，操作步骤如下：

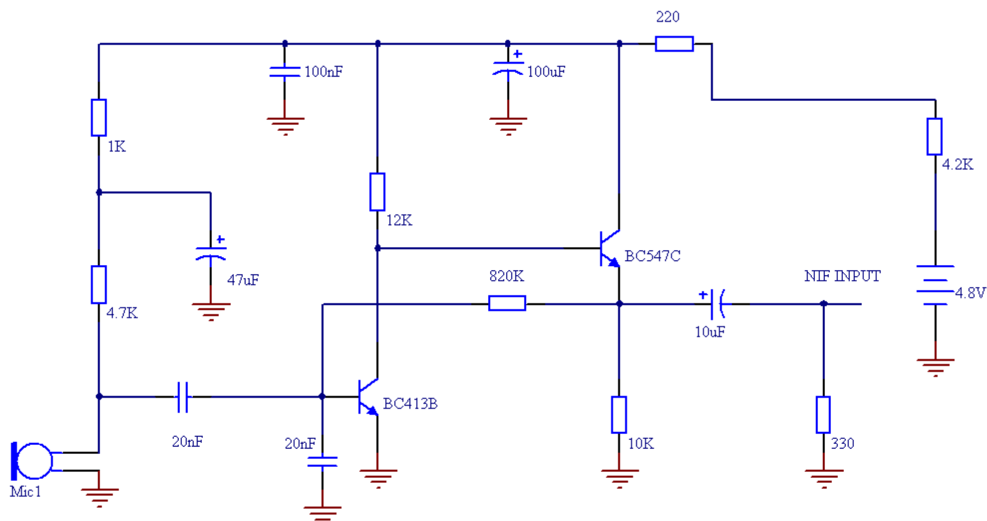



图 8-7 电脑麦克风电路原理图

Step1 在已经导入了上述电路原理图的网络表和所使用的元件封装的 PCB 文件 PCB1.PcbDoc 编辑器内，设定自动布局参数。自动布局前的 PCB 图如图 8-8 所示。

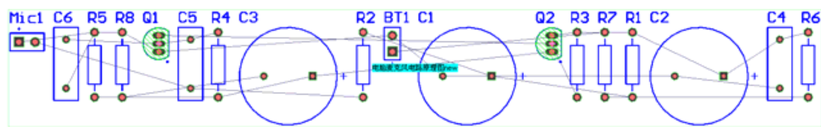



图 8-8　自动布局前的 PCB 图

Step2 在“Keep-out Layer（禁止布线层）”设置布线区。

Step3 单击菜单栏中的“工具”→“器件布局”→“自动布局”命令，系统将弹出如图 8-9 所示的“自动放置”对话框。自动布局有两种方式，即分组布局方式和统计布局方式。




图 8-9　“自动放置”对话框

分组布局方式的自动布局思路为，根据电气连接关系将元件划分为不同的组，然后按照几何关系放置各元件组。该布局方式适用于元件较少（少于 100 个）的电路。在点选“成群的放置项”单选钮的同时勾选“快速元件放置”复选框，系统将进行快速元件自动布局，但快速布局一般无法达到最优化的元件布局效果。

统计布局方式的自动布局思路为，根据统计算法放置元件，优化元件的布局使元件之间的导线长度最短。该布局方式比较适用于元件较多（多于 100 个）的电路。

下面对这两种自动布局方式进行详细介绍。

（1）“成群的放置项”自动布局方式：在“自动放置”对话框中，点选“成群的放置项”单选钮，在该对话框中提供了“快速元件放置”布局模式。在该模式下布局速度较快，但是布局效果较差。单击“OK（确定）”按钮，即可开始“成群的放置项”的自动布局方式。自动布局需要经过大量的计算，因此需要耗费一定的时间。在项目中执行自动布局后，所有的元件进入了 PCB 的边框内，它们按照如图 8-10 所示被放置到合适的位置。所有的元件将按照分组的形式出现在 PCB 中，但是布局并不合理，PCB 的空间利用严重不合理，需要手动调整。

（2）“统计的放置项”自动布局方式：在“自动放置”对话框中，点选“统计的放置项”单选钮，弹出统计布局设置对话框，如图 8-11 所示。其中各选项功能如下：

- “组员”复选框：勾选该复选框后，当前 PCB 设计中网络连接关系密切的元件将被归为一组，排列时该组的元件将作为整体考虑。
- “旋转组件”复选框：勾选该复选框后，在进行元件的布局时系统可以根据需要对

元件或元件组进行旋转（方向为 0°、90°、180° 或 270°）。

- “自动更新 PCB”复选框：勾选该复选框，在布局时系统将自动更新 PCB 文件的显示。由于需要执行窗口的刷新操作，因此勾选该复选框将延长自动布局的时间。

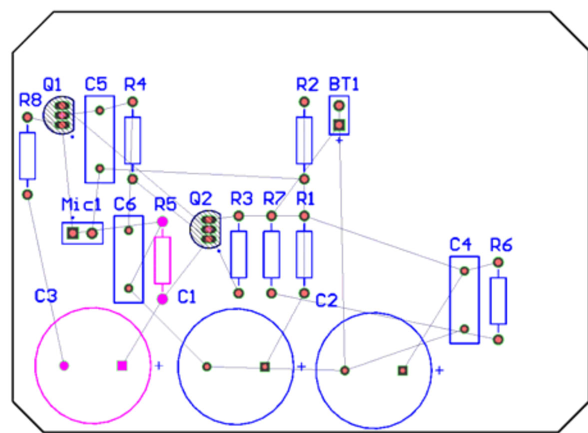



图 8-10　放置元件的位置

- “电源网络”文本框：在该文本框中可以填写一个或多个电源网络的名称。跨过这些网络的双引脚元件通常被称为退耦电容，系统将其自动放置到与之相关的元件旁边。详细地定义电源网络可以加速自动布局的进程。
- “地网络”文本框：在该文本框中可以填写一个或多个地网络的名称。跨过这些网络的双引脚元件通常被称为退耦电容，系统将其自动放置到与之相关的元件旁边。详细地定义地网络同样可以加速自动布局的进程。
- “栅格尺寸”文本框：该文本框用于详细定义元件布局时格点的大小（通常采用 mil 为单位）。格点间距设置过大可能导致元件被挤出 PCB 板的边框，因此通常保持默认设置。

在完成各项设置后，单击“确定”按钮，即可开始“统计的放置项”的自动布局方式。自动布局需要经过大量的计算，因此需要耗费一定的时间。

在完成自动布局后将弹出如图 8-12 所示的“Information（信息）”对话框，提示自动布局结束。单击“OK（确定）”按钮，即可完成自动布局。如图 8-13 所示为最终的自动布局结果。




图 8-11　统计布局设置对话框

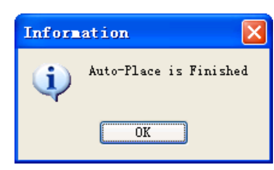



图 8-12　“Information”对话框

从图 8-13 中可以看出，元件在自动布局后不再是按照种类排列在一起。各种元件将按照自动布局的类型选择，初步地分成若干组分布在 PCB 板中，同一组的元件之间用导线建立连接将更加容易。

自动布局结果并不是完美的，还存在很多不合理的地方，因此还需要对自动布局进行调整。

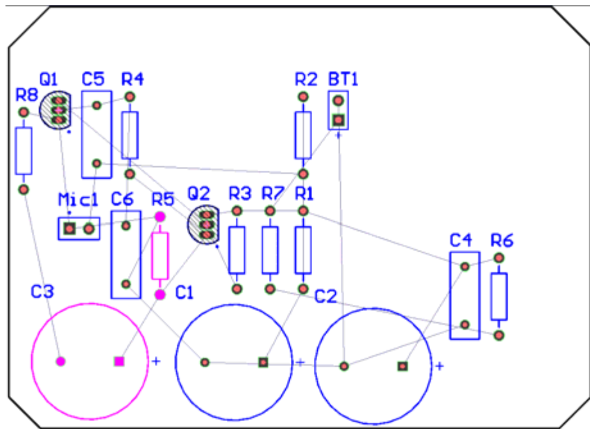



图 8-13　自动布局结果

## 8.1.3　自动布局的终止

自动布局的终止操作主要是针对分组布局方式。在大规模的电路设计中，自动布局涉及到大量计算，执行起来往往要花费很长的时间，用户可以在分组布局进程的任意时刻执行终止布局过程命令。单击菜单栏中的“工具”→“器件布局”→“停止自动布局”命令，系统将弹出如图 8-14 所示的“确认”对话框，询问用户是否想要终止自动布局的进程。

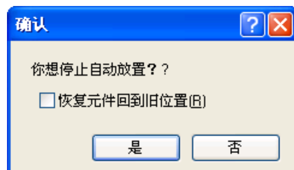



图 8-14　“确认”对话框

- 勾选“恢复元件回到旧位置”复选框后，单击“是”按钮，则可恢复到自动布局前的 PCB 显示效果。
- 取消对“恢复元件回到旧位置”复选框的勾选后，单击“是”按钮，则工作窗口显示的是结束前最后一步的布局状态。
- 单击“否”按钮，则继续未完成的自动布局进程。

## 8.1.4　推挤式自动布局

推挤式自动布局不是全局式的元件自动布局，它的概念和推挤式自动布线类似。在某些设计中定义了元件间距规则，即元件之间有最小间距限制。在对某个元件执行了移动操作后，可能违反了先前定义的元件间距规则。执行推挤式的自动布局后，系统将根据设置的元件间距规则，自动地平行移动违反了间距规则的元件及其连线等对象，增加元件间距到符合元件间距规则为止。推挤式自动布局的操作步骤如下：

Step1 在进行推挤式布局前，应先设定推挤式布局的深度参数。单击菜单栏中的“工具”→“器件布局”→“设置推挤深度”命令，系统将弹出如图 8-15 所示的“Shove Depth（推挤深度）”对话框。设置完成后单击“OK（确定）按钮，关闭该对话框。




图 8-15 “Shove Depth”对话框

Step2 单击菜单栏中的“工具”→“器件布局”→“推挤”命令，即可开始推挤式布局操作。此时光标变成十字形状，选择基准元件，移动光标到所选元件上，单击，系统将以用户设置的“Shove Depth（推挤深度）”推挤基准元件周围的元件，使之处于安全间距之外。

Step3 此时光标仍处于激活状态，单击其他元件可继续进行推挤式布局操作。

Step4 右击或者按 Esc 键退出该操作。

对于元件数目比较小的 PCB，一般不需要对元件进行推挤式自动布局操作。

### 8.1.5 导入自动布局文件进行布局

对元件进行布局时还可以采用导入自动布局文件来完成，其实质是导入自动布局策略。单击菜单栏中的“工具”→“器件布局”→“依据文件放置”命令，系统将弹出如图 8-16 所示的“Load File Name（导入文件名称）”对话框。从中选择自动布局文件（后缀为“.PIk”），然后单击“打开”按钮即可导入此文件进行自动布局。

通过导入自动布局文件的方法在常规设计中比较少见，这里导入的并不是每一个元件自动布局的位置，而是一种自动布局的策略。

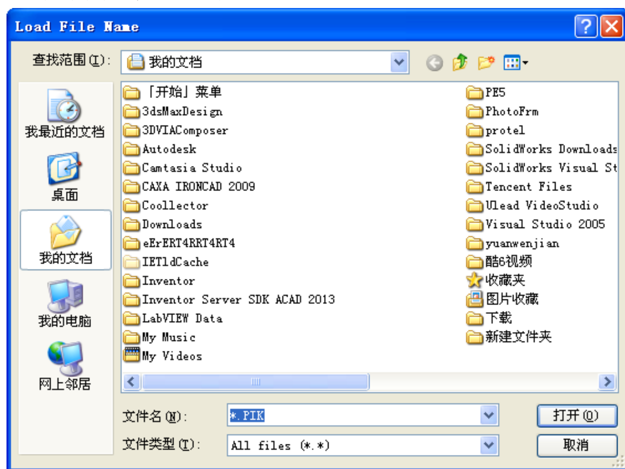



图 8-16 “Load File Name”对话框

## 8.2 元件的手动布局

元件的手动布局是指手动确定元件的位置。在前面介绍的元件自动布局的结果中，虽然

设置了自动布局的参数，但是自动布局只是对元件进行了初步的放置，自动布局中元件的摆放并不整齐，走线的长度也不是最短，PCB 布线效果也不够完美，因此需要对元件的布局做进一步调整。在 PCB 板上，可以通过对元件的移动来完成手动布局的操作，但是单纯的手动移动不够精细，不能非常整齐地摆放好元件。为此 PCB 编辑器提供了专门的手动布局操作，可以通过“编辑””菜单下“对齐””命令的子菜单来完成。

### 8.2.1　元件说明文字的调整

对元件说明文字进行调整，除了可以手动拖动外，还可以通过菜单命令实现。单击菜单栏中的“编辑”→“对齐””→“Position Component Text（设置元件文字位置）”命令，系统将弹出如图 8-17 所示的“排列对象”对话框。在该对话框中，用户可以对元件说明文字（标号和说明内容）的位置进行设置。该命令是对所有元件说明文字的全局编辑，每一项都有 9 种不同的摆放位置。选择合适的摆放位置后，单击“OK（确定）”按钮，即可完成元件说明文字的调整。




图 8-17　“排列对象”对话框

### 8.2.2　元件间距的调整

元件间距的调整主要包括水平（Horizontal）和垂直（Vertical）两个方向上间距的调整。相关命令也在“对齐””子菜单中。主要命令介绍如下：

- “Distribute Horizontally（水平分布）”命令：单击该命令，系统将以最左侧和最右侧的元件为基准，元件的 Y 坐标不变，X 坐标上的间距相等。当元件的间距小于安全间距时，系统将以最左侧的元件为基准对元件进行调整，直到各个元件间的距离满足最小安全间距的要求为止。
- “Increase Horizontal Spacing（增大水平间距）”命令：用于将增大选中元件水平方向上的间距。增大量为“Board Options（电路板选项）”对话框中“Component Grid（元件栅格）”的 X 参数。

### 8.2.3　移动元件到格点处

格点的存在能使各种对象的摆放更加方便，更容易满足对 PCB 布局的“整齐、对称”的要求。手动布局过程中移动的元件往往并不是正好处在格点处，这时就需要使用“编辑”→“对齐”→“Move All Components Origin To Grid（移动所有元件的原点与栅格对齐）”命令。单击该命令时，元件的原点将被移到与其最靠近的格点处。

在执行手动布局的过程中，如果所选中的对象被锁定，那么系统将弹出一个对话框询问是否继续。如果用户选择继续的话，则可以同时移动被锁定的对象。

## 8.2.4 元件手动布局的具体步骤

下面就利用元件自动布局的结果，继续进行手动布局调整。自动布局结果如图 8-18 所示。

元件手动布局的操作步骤如下：

Step1 选中 4 个电容器，将其拖动到 PCB 板的左部重新排列，在拖动过程中按 Space 键，使其以合适的方向放置，如图 8-19 所示。

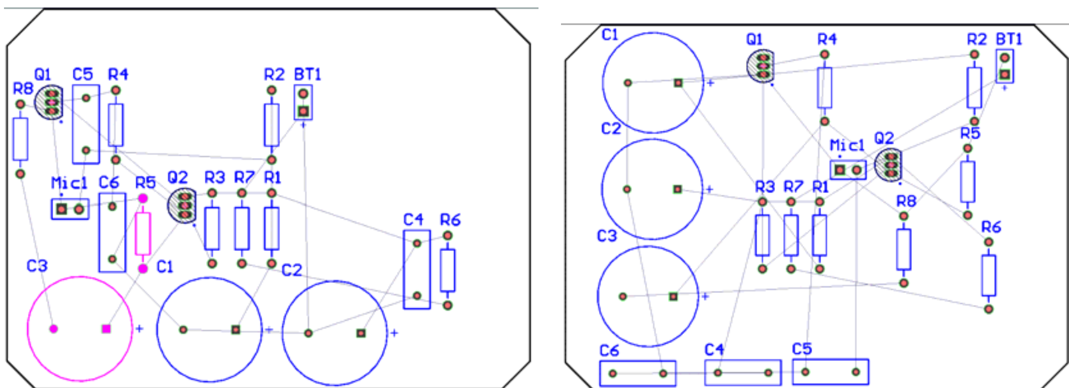



图 8-18 自动布局结果　　　　图 8-19 放置电容器

Step2 调整电阻位置，使其按标号并行排列。由于电阻分布在 PCB 板上的各个区域内，一次调整会很费劲，因此，使用查找相似对象命令。

Step3 单击菜单栏中的“编辑””→“ 查找相似对象”命令，此时光标变成十字形状，在 PCB 区域内单击选取一个电阻，弹出“发现相似目标”对话框，如图 8-20 所示。在“Objects Specitic”选项组的“Footprint（轨迹）”下拉列表中选择“Same（相同）”选项，单击“应用”按钮，再单击“OK（确定）”按钮，退出该对话框。此时所有电阻均处于选中状态。

Step4 单击菜单栏中的“工具”→“器件布局”→“ 排列板子外的器件”命令，则所有电阻自动排列到 PCB 板外部。

Step5 单击菜单栏中的“工具”→“器件布局”→“ 在矩形区域排列”命令，用十字光标在 PCB 板外部画出一个合适的矩形，此时所有电阻自动排列到该矩形区域内，如图 8-21 所示。

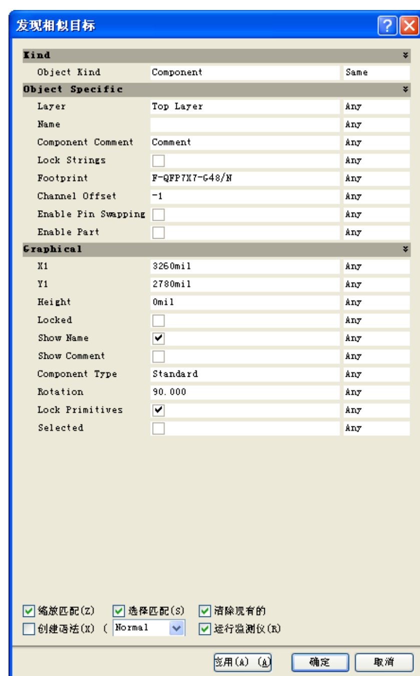



图 8-20 “发现相似目标”对话框

Step6 由于标号重叠，为了清晰美观，单击“水平分布”和“增加水平间距”命令，调整电阻之间的间距，结果如图 8-22 所示。

Step7 将排列好的电阻拖动到电路板中合适的位置。按照同样的方法，对其他元件进行排列。

Step8 单击菜单栏中的“编辑”→“对齐”→“ 水平分布”命令，将各组器件排列整齐。

手动调整后的 PCB 板布局如图 8-23 所示。布局完毕会发现，原来定义的 PCB 形状偏大，需要重新定义 PCB 板形状。

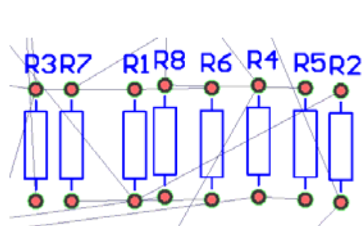



图 8-21 在矩形区内排列电阻

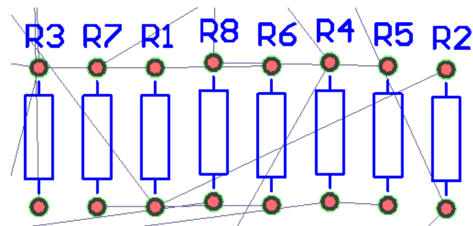



图 8-22 调整电阻间距

## 8.3 3D 效果图

手动布局完毕后，可以通过 3D 效果图，直观地查看效果，以检查手动布局是否合理。

在 PCB 编辑器内，单击菜单栏中的“工具”→“遗留工具”→“3D 显示”命令，则系统生成该 PCB 的 3D 效果图，加入到该项目生成的“PCB 3D Views”文件夹中并自动打开。“PCB1.PcbDoc” PCB 板生成的 3D 效果图如图 8-24 所示。

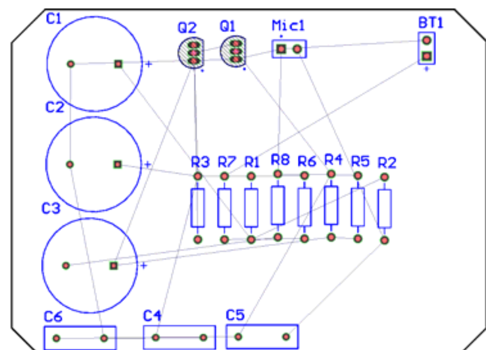



图 8-23 手动调整后的 PCB 板布局

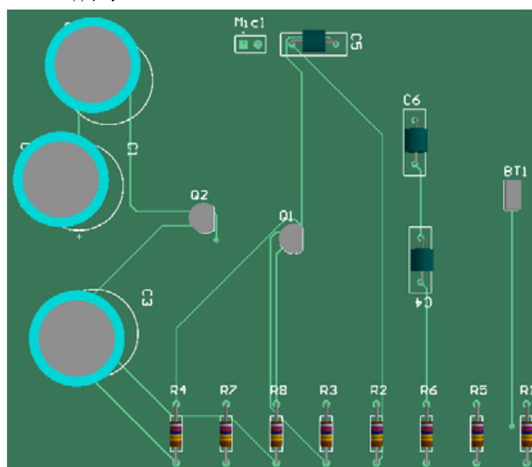



图 8-24 PCB 板 3D 效果图

# 8.4 网络密度分析

网络密度分析是利用 Altium Designer 13 系统提供的密度分析工具，对当前 PCB 文件的元件放置及其连接情况进行分析。密度分析会生成一个临时的密度指示图（Density Map），覆盖在原 PCB 图上面。在图中，绿色的部分表示网络密度较低，元件越密集、连线越多的区域颜色就会呈现一定的变化趋势，红色表示网络密度较高的区域。

在 PCB 编辑器中，单击菜单栏中的“工具”→“密度图”命令，系统自动执行对当前 PCB 文件的密度分析。

# 8.5 操作实例

本节将通过两个简单的实例来介绍 PCB 布局设计。原理图保存在光盘文件夹“yuanwenjian\ch_08\8.5”中，用户可以直接使用，也可以自行创建。

## 8.5.1 单片机系统 PCB 的布局设计

### 1. 设计要求

完成如图 8-25 所示单片机系统的原理图设计及网络表生成，然后完成电路板外形尺寸设定，实现元件的自动布局及手动调整。

### 2. 操作步骤

（1）新建项目并创建原理图文件

Step1 启动 Altium Design 13，单击菜单栏中的“文件”→“New（新建）”→“Project（工程）”→“PCB 工程（印制电路板文件）”命令，创建一个 PCB 项目文件，如图 8-26 所示。

Step2 单击菜单栏中的“文件”→“保存工程为”命令，以容易记忆的文件名保存项目。

Step3 在“Projects（工程）”面板的项目文件上右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“给工程添加新的”→“Schematic（原理图）”命令，如图 8-27 所示，新建一个原理图文件，并自动切换到原理图编辑环境。

Step4 用保存项目文件的方法，将该原理图文件另存为“单片机系统.SchDoc”。

Step5 设计完成如图 8-25 所示的原理图。

Step6 在原理图编辑环境下，单击菜单栏中的“设计”→“工程的网络表”→“Protel（生成 Protel 格式的网络表）”命令，生成一个对应于该电路原理图的网络表，如图 8-28 所示。

Step7 在“Projects（工程）”面板的项目文件上右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“给工程添加新的”面板→“PCB（新建 PCB 文件）”命令，如图 8-29 所示，新建一个 PCB 电路板文件，并自动切换到 PCB 编辑环境。保存 PCB 文件为“单片机系统.PcbDoc”。

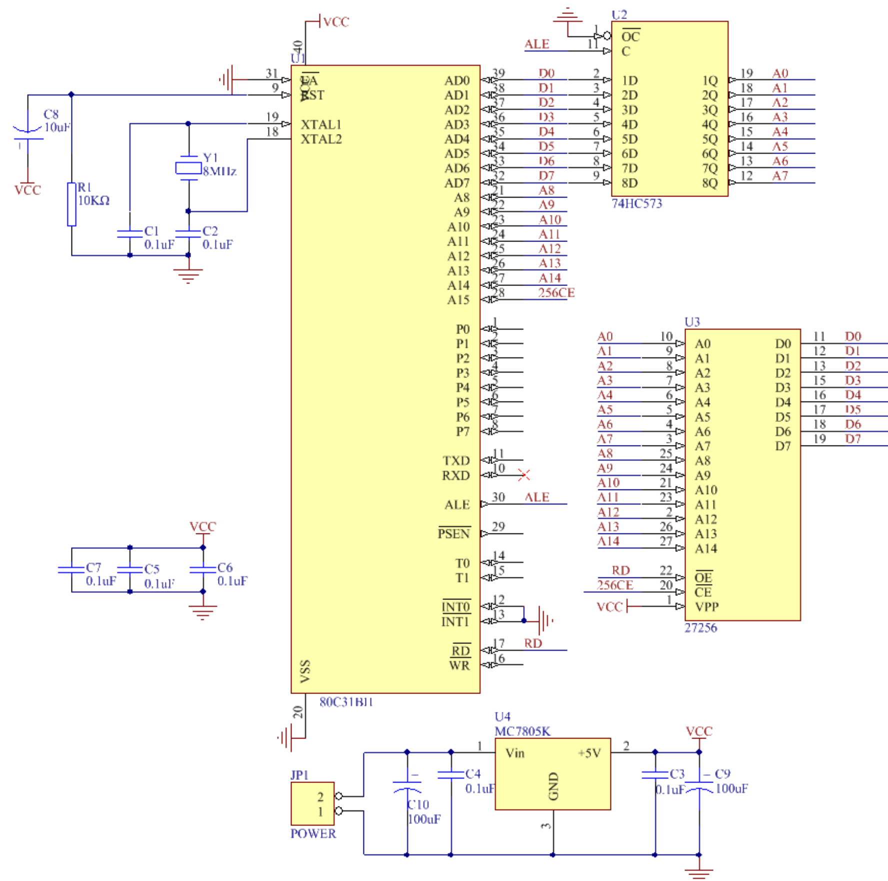


图 8-25　单片机系统电路原理图

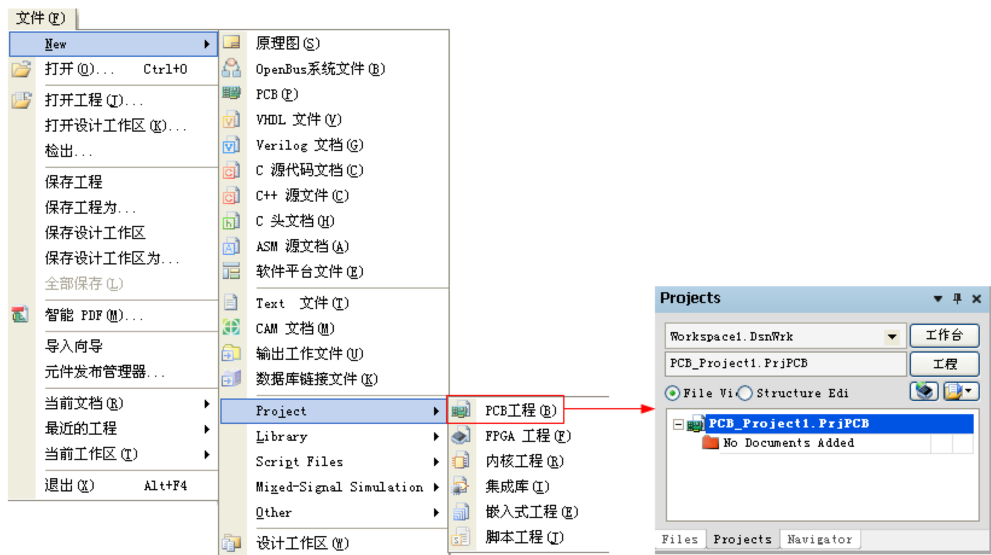



图 8-26　创建 PCB 项目文件

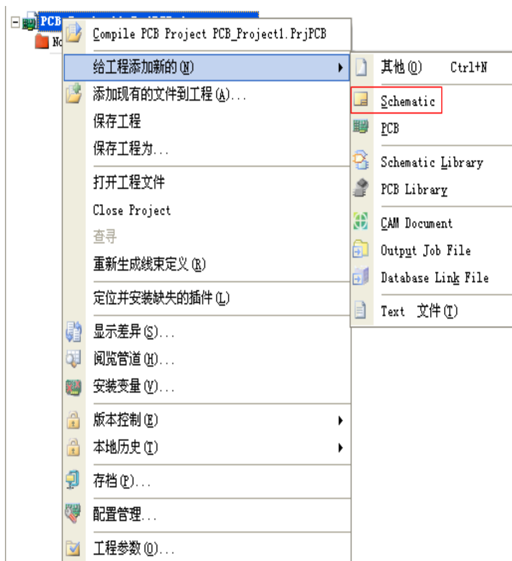



图 8-27 新建原理图文件

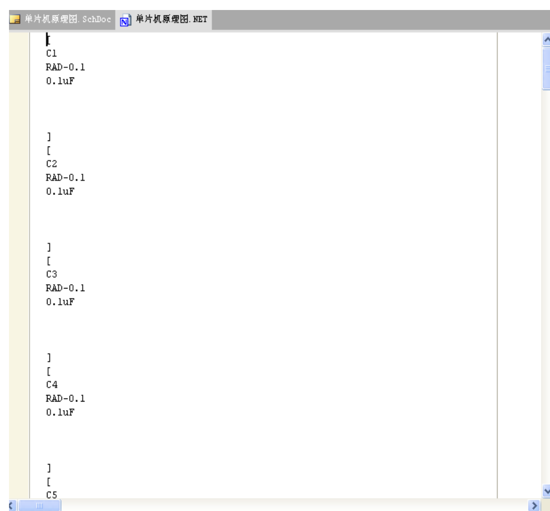



图 8-28 电路原理图的网络表

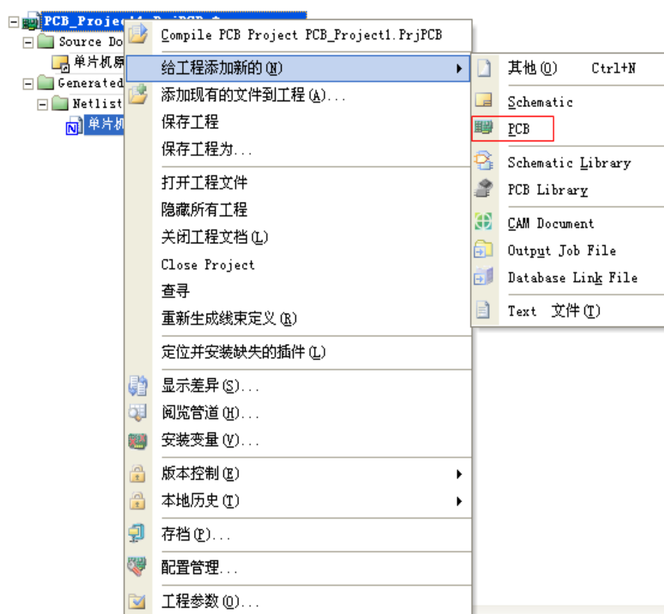



图 8-29 新建 PCB 电路板文件

（2）规划电路板

Step1 单击 PCB 编辑区下方的“Keep-Out Layer（禁止布线层）”标签，将其切换为当前工作层。该层为禁止布线层，一般用于设置电路板的布线区域。

Step2 单击“实用”工具栏中的 ⁄（放置线）按钮，此时光标变为十字形状，绘制如图 8-30 所示的电路板边框。

Step3 右击或按 Esc 键退出该操作。

Step4 双击电路板边框，系统将弹出如图 8-31 所示的“轨迹”对话框。设置完成后单击“OK（确定）”按钮。



图 8-30 绘制电路板边框

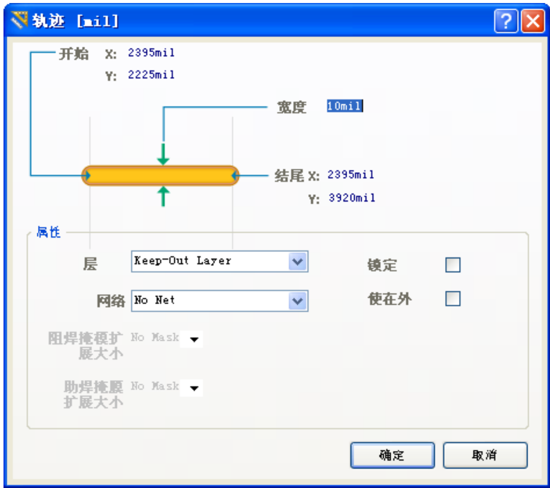



图 8-31 “轨迹”对话框

（3）加载网络表与元件。由于 Altium Designer 13 实现了真正的双向同步设计，在 PCB 电路设计过程中，用户可以不生成网络表，而直接将原理图内容传输到 PCB。

Step1 在原理图编辑环境下，单击菜单栏中的“设计”→“Update PCB Document 单片机原理图.PcbDoc（更新 PCB 文件）”命令，系统将弹出如图 8-32 所示的“工程更改顺序”对话框。

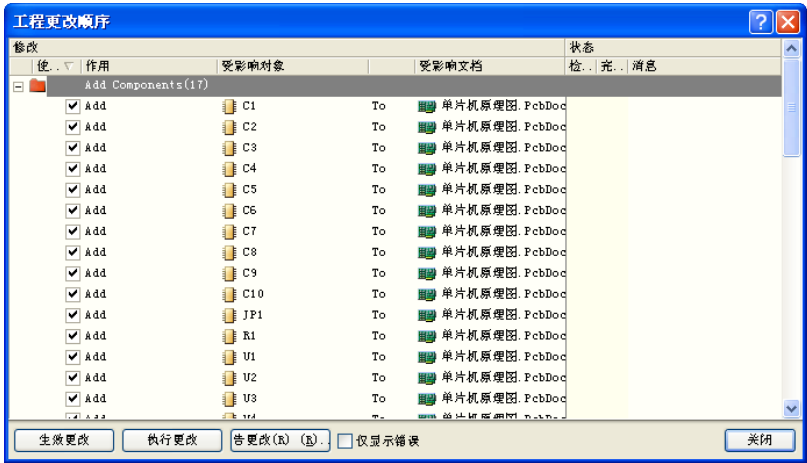



图 8-32 “工程更改顺序”对话框

Step2 单击“生效更改”按钮，系统会逐项检查所提交的修改，并在“情况”栏的“检

查”项中显示装入的元件是否正确，正确的标识为，错误的标识为。如果出现错误，一般是找不到元件对应的封装。这时应该打开相应的原理图，检查元件封装名是否正确或添加相应的元件封装库，进行相应处理。

Step3 如元件封装和网络都正确，单击“执行更改”按钮，“工程更改顺序”对话框刷新为如图 8-33 所示。工作区已经自动切换到 PCB 编辑状态，单击“关闭”按钮，关闭该对话框，网络表与元件已经加载到电路板上，如图 8-34 所示。

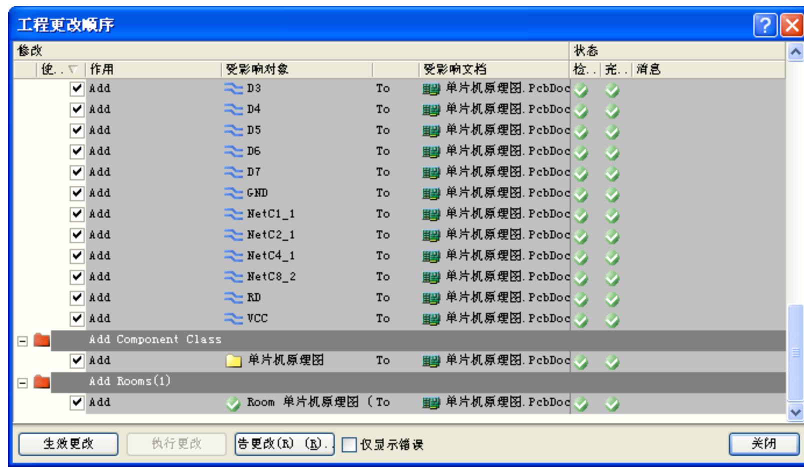



图 8-33　执行更新后的“工程更改顺序”对话框

（4）元件自动布局。加载网络表及元件封装之后，必须将这些元件按一定规律与次序排列在电路板中，此时可利用自动布局功能。如图 8-35 所示。

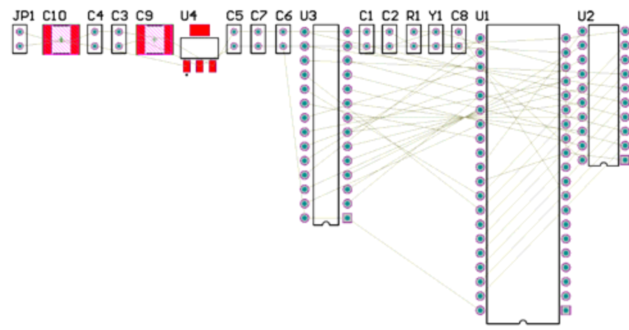



图 8-34　加载网络表与元件

（5）手动调整元件布局。用手动调整的方式优化调整部分元件的位置。

Step1 选择元件。

Step2 通过移动元件、旋转元件、排列元件、调整元件标注及剪切复制元件等命令，手动调整元件布局，调整完成的 PCB 布局如图 8-36 所示。

（6）调整禁止布线层和机械层边界

Step1 单击菜单栏中的“编辑”→“移动”→“拖动”命令，将禁止布线层和机械层边界向元件拖动，留出 100mil 空间即可。

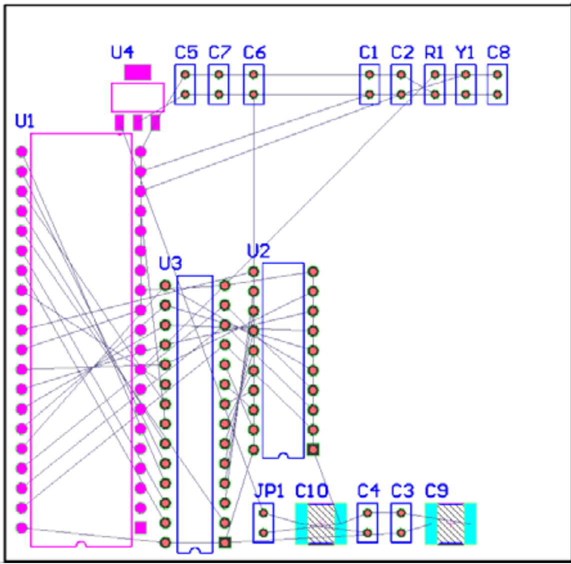



图 8-35　自动布局效果

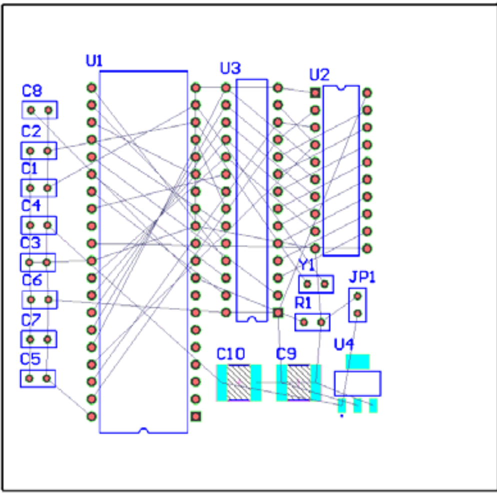



图 8-36　手动调整元件布局后的 PCB 布局

Step2 单击菜单栏中的“设计”→“板子形状”→“ 重新定义板形状”命令，沿机械层边界线，重新定义 PCB 板形状。重新定义后的 PCB 板形状如图 8-37 所示。

（7）查看 PCB 效果图。单击菜单栏中的“工具”→“遗留工具”→“3D 显示”命令，系统将生成当前 PCB 的 3D 效果图，加入到该项目中并自动打开，如图 8-38 所示。

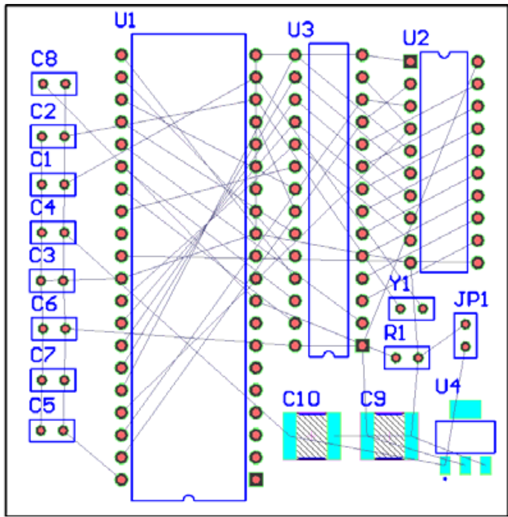



图 8-37　重新定义后的 PCB 板形状

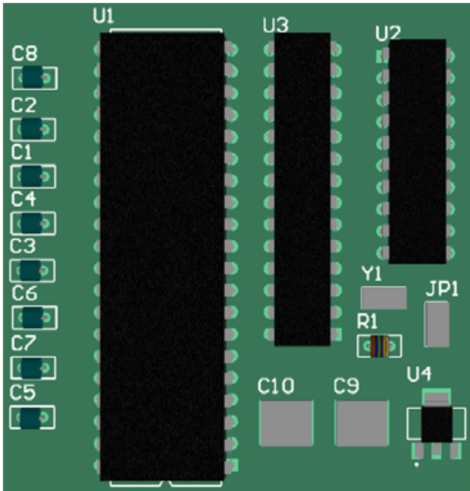



图 8-38　当前单片机系统的 3D 效果图

（8）网络密度分析

Step1 在 PCB 编辑器中，单击菜单栏中的“工具”→“密度图”命令，系统自动执行对当前 PCB 文件的密度分析。

Step2 按 End 键刷新视图，或者通过单击文件标签切换到其他编辑器视图中，即可恢复到普通 PCB 文件视图中。

从密度分析生成的密度指示图中可以看出，该 PCB 布局密度较低。

## 8.5.2 LED 显示电路的布局设计

### 1．设计要求

完成如图 8-39 所示 LED 显示电路的原理图设计及网络表生成，然后完成电路板外形尺寸设定，实现元件的自动布局及手动调整。

### 2．操作步骤

（1）新建项目并创建原理图文件

Step1 启动 Altium Design 13，单击菜单栏中的“文件”→“New（新建）”→“Project（工程）”→“PCB 工程（印制电路板文件）”命令，创建一个 PCB 项目文件。

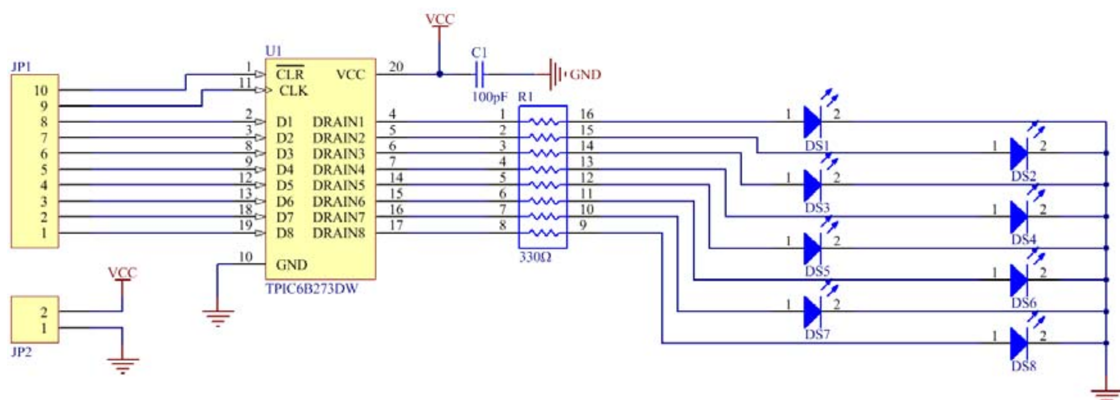



图 8-39 LED 显示电路原理图

Step2 单击菜单栏中的“文件”→“保存工程为”命令，将项目另存为“LED 显示电路.PrjPcb”。

Step3 在“Projects”（工程）面板的项目文件上右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“给工程添加新的”面板”→“Schematic（原理图）”命令，新建一个原理图文件，并自动切换到原理图编辑环境。

Step4 用保存项目文件的方法，将该原理图文件另存为“LED 显示原理图.SchDoc”。

Step5 设计完成如图 8-39 所示的原理图。

Step6 在原理图编辑环境下，单击菜单栏中的“设计”→“工程的网络表”→“Protel（产生 Protel 格式的网络表）”命令，生成一个对应于 LED 显示电路原理图的网络表，如图 8-40 所示。

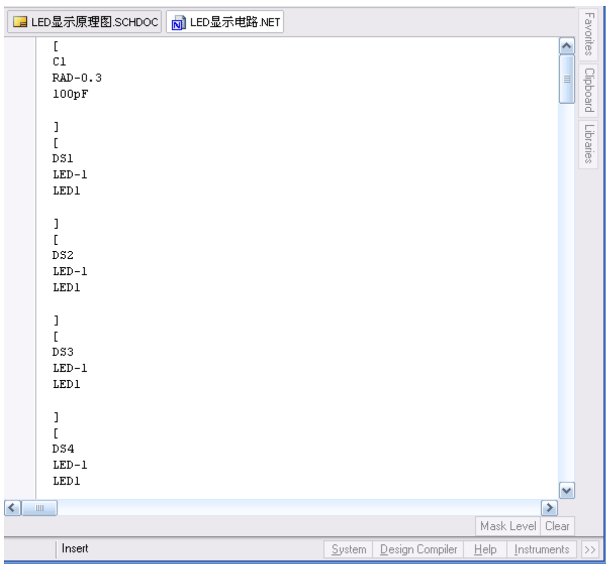



图 8-40　LED 显示电路原理图的网络表

Step7 在“Projects（工程）”面板的项目文件上右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“给工程添加新的”面板”→“PCB（新建 PCB 文件）”命令，新建一个 PCB 电路板文件，并自动切换到 PCB 编辑环境。保存 PCB 文件为“LED 显示电路.PcbDoc”。

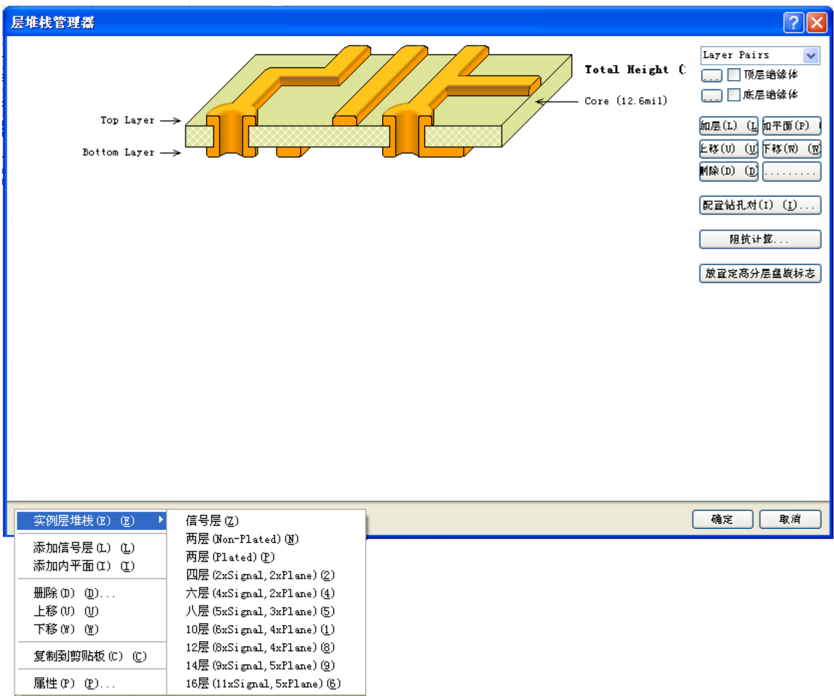



图 8-41　“层堆栈管理器”对话框

（2）规划电路板

Step1　在 PCB 编辑器中，单击菜单栏中的“设计”→“层叠管理”命令，系统将弹出“层堆栈管理器”对话框。在该对话框中单击“菜单”按钮，在弹出的“菜单”菜单中单击“实例层堆栈”→“两层 (Non-Plated)”命令，如图 8-41 所示，即可将电路板类型设置为双面板。

Step2　在机械层绘制一个 2000mil×1500mil 的矩形框作为电路板的物理边界，然后切换到禁止布线层。在物理边界绘制一个 1900mil×1400mil 的矩形框作为电路板的电气边界，两边界之间的间距为 50mil。

Step3　重新定义电路板的外形。单击菜单栏中的“设计”→“板子形状”→“重新定义板形”命令，然后沿着步骤 2 中定义的物理边界绘制出电路板的边界，即可将电路板的外形定义为物理边界的大小。

Step4　放置电路板的安装孔。在电路板四角的适当位置放置 4 个内外径均为 3mm 的焊盘充当安装孔。电路板外形如图 8-42 所示。

Step5　设置图纸区域的栅格参数。单击菜单栏中的“设计”→“ 板参数选项”命令，系统将弹出“板选项”对话框。在该电路板中，按图 8-43 所示的参数设置电路板工作窗口中的栅格参数。设置完毕后单击“确定”按钮。



图 8-42　电路板外形




图 8-43　设置电路板工作窗口中的栅格参数

（3）加载网络表与元件。由于 Altium Designer 13 实现了真正的双向同步设计，在 PCB 电路设计过程中，用户可以不生成网络表，而直接将原理图内容传输到 PCB。

Step1　在原理图编辑环境下，单击菜单栏中的“设计”→“Update PCB Document LED 显示原理图.PcbDoc”（更新 PCB 文件）命令，系统将弹出“工程更改顺序”对话框。

Step2　单击“生效更改”按钮，系统会逐项检查所提交修改的有效性，并在“状态”栏的“检查”选项中显示装入的元件是否正确，正确的标识为✅，错误的标识为❌。如果出现错误，一般是找不到元件对应的封装。这时应该打开相应的原理图，检查元件封装名是否正确或添加相应的元件封装库，进行相应处理。

Step3 如元件封装和网络都正确，单击“执行更改”按钮，“工程更改顺序”对话框刷新为如图 8-44 所示。工作区已经自动切换到 PCB 编辑状态，单击“关闭”按钮，关闭该对话框。电路板加载了网络表与元件封装，如图 8-45 所示。

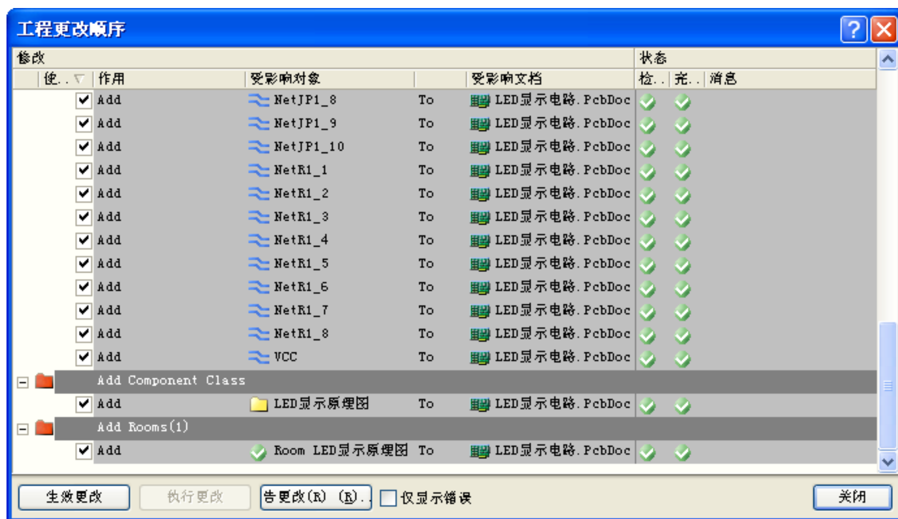



图 8-44 执行更新命令后的“工程更改顺序”对话框

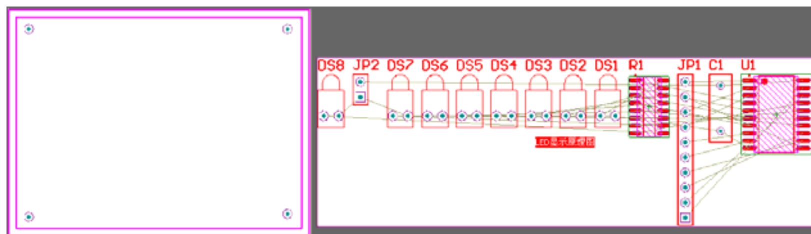



图 8-45 载入网络表与元件封装

（4）元件布局。加载网络表及元件封装之后，必须将这些元件按一定规律与次序排列在电路板中，此时可利用元件布局功能。

Step1 二极管的预布局。将 8 个二极管移至电路板边缘，如图 8-46 所示。

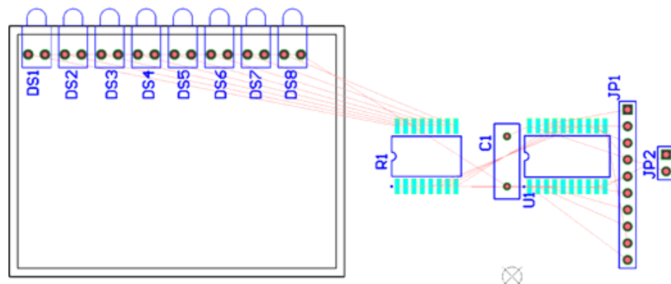



图 8-46 二极管布局

Step2 锁定 8 个二极管，然后单击菜单栏中的“工具”→“器件布局”→“自动放置”

命令，自动布局结果如图 8-47 所示。自动布局后，还需要用手动调整的方式优化调整部分元件的位置。

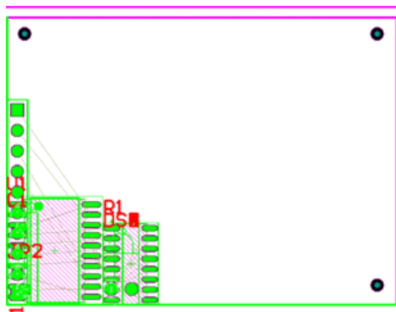



图 8-47　自动布局结果

Step3 调整元件布局。通过移动元件、旋转元件、排列元件、调整元件标注及剪切复制元件等命令，将滤波电容尽量移至元件 U1 附近，然后将插接件 JP1 和 JP2 移至电路板边缘，手动调整元件布局后的 PCB 布局如图 8-48 所示。

（5）查看 PCB 效果图并进行网络密度分析。

布局完毕后，通过系统生成的 3D 效果图可以直观地查看视觉效果。

Step1 单击菜单栏中的“工具”→“遗留工具”→“3D 显示”命令，系统将生成当前 PCB 的 3D 效果图并将其加入到该项目同时自动打开，如图 8-49 所示。

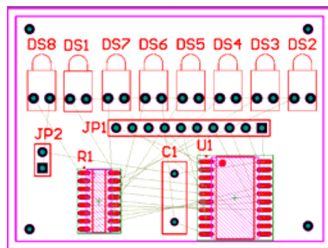



图 8-48　手动调整元件布局后的 PCB 布局

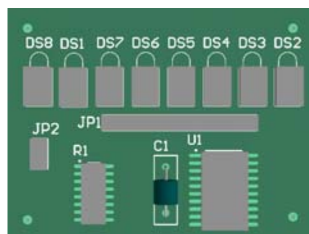



图 8-49　LED 显示电路的 3D 效果图

Step2 在 PCB 编辑器中，单击菜单栏中的“工具”→“密度图”命令，系统将对当前 PCB 文件自动执行密度分析。

Step3 按 End 键刷新视图，或者通过单击文件标签切换到其他编辑器视图中，即可恢复到普通 PCB 文件视图中。从密度分析生成的密度指示图可以看出，该 PCB 布局密度较低。

# 第 9 章

# 印制电路板的布线

在完成电路板的布局工作以后，就可以开始布线操作了。在PCB的设计中，布线是完成产品设计的重要步骤，其要求最高、技术最细、工作量最大。PCB布线可分为单面布线、双面布线和多层布线。布线的方式有自动布线和交互式布线两种。通常自动布线是无法达到电路的实际要求的，因此，在自动布线前，可以用交互式布线方式预先对要求比较严格的部分进行布线。

在PCB上布线的首要任务就是在PCB板上布通所有的导线，建立起电路所需的所有电气连接，这在高密度的PCB设计中很具有挑战性。在能够完成所有布线的前提下还有如下要求：

- 走线长度尽量短而直，以保证电气信号的完整性。
- 走线中尽量少使用过孔。
- 走线的宽度要尽量宽。
- 输入、输出端的边线应避免相邻平行，以免产生反射干扰，必要时应该加地线隔离。
- 相邻电路板工作层之间的布线要互相垂直，平行则容易产生耦合。

知识点

- PCB 的自动布线
- PCB 的手动布线

# 9.1　电路板的自动布线

自动布线是一个优秀的电路设计辅助软件所必须具备的功能之一。对于散热、电磁干扰及高频特性等要求较低的大型电路设计，采用自动布线操作可以大大降低布线的工作量，同时还能减少布线时所产生的遗漏。如果自动布线不能够满足实际工程设计的要求，可以通过手动布线进行调整。

## 9.1.1　设置 PCB 自动布线的规则

Altium Design 13 在 PCB 电路板编辑器中为用户提供了 10 大类 49 种设计规则，覆盖了元件的电气特性、走线宽度、走线拓扑结构、表面安装焊盘、阻焊层、电源层、测试点、电路板制作、元件布局、信号完整性等设计过程中的方方面面。在进行自动布线之前，首先应对自动布线规则进行详细设置。单击菜单栏中的“设计”→“规则”命令，系统将弹出如图 9-1 所示的“PCB 规则及约束编辑器”对话框。

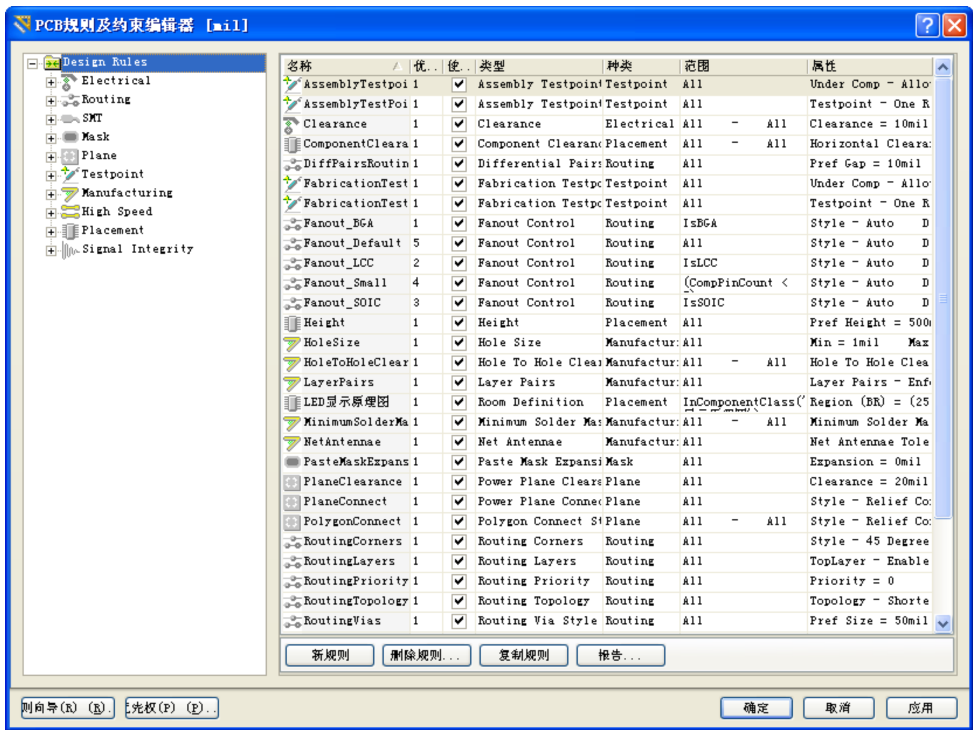



图 9-1　“PCB 规则及约束编辑器”对话框

1.“Electrical（电气规则）”类设置

该类规则主要针对具有电气特性的对象，用于系统的 DRC（电气规则检查）功能。当布

线过程中违反电气特性规则（共有 4 种设计规则）时，DRC 检查器将自动报警提示用户。单击“Electrical（电气规则）”选项，对话框右侧将只显示该类的设计规则，如图 9-2 所示。

（1）“Clearance（安全间距规则）”：单击该选项，对话框右侧将列出该规则的详细信息，如图 9-3 所示。

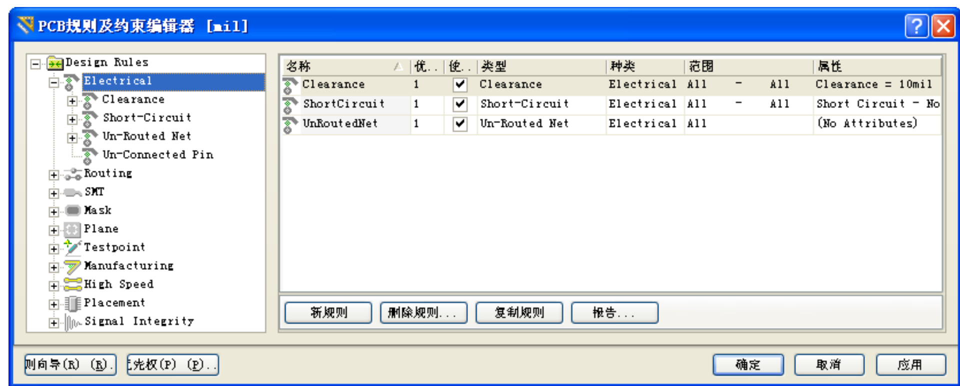



图 9-2 “Electrical”选项设置界面

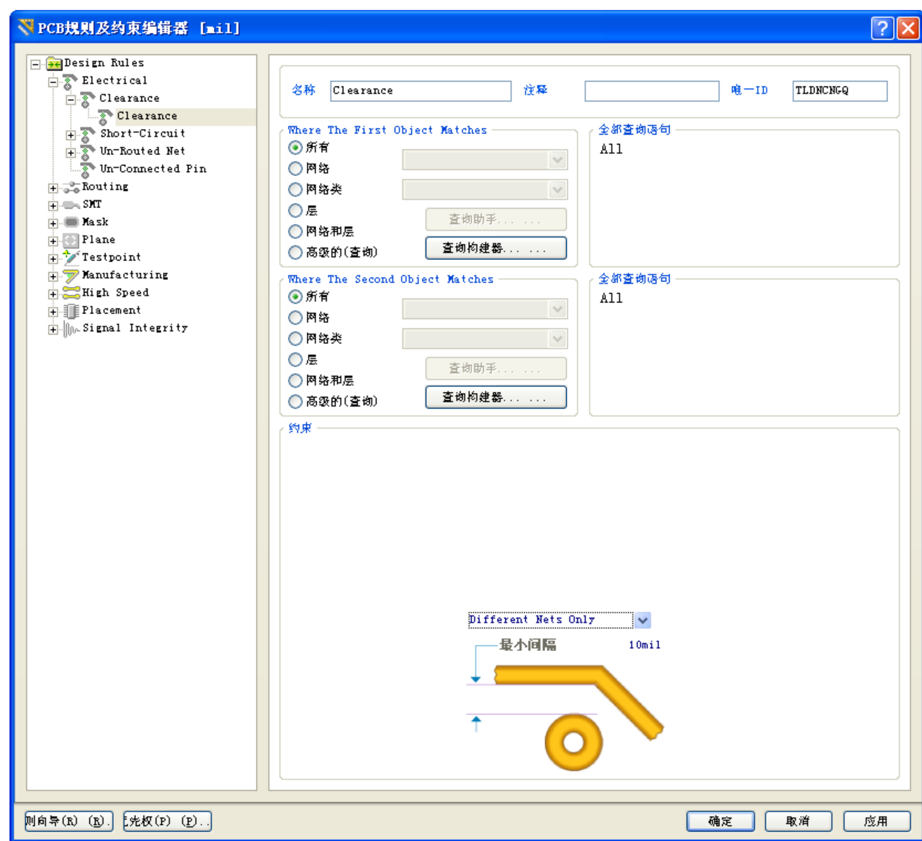



图 9-3 安全间距规则设置界面

该规则用于设置具有电气特性的对象之间的间距。在 PCB 板上具有电气特性的对象包括

导线、焊盘、过孔和铜箔填充区等，在间距设置中可以设置导线与导线之间、导线与焊盘之间、焊盘与焊盘之间的间距规则，在设置规则时可以选择适用该规则的对象和具体的间距值。

其中各选项组的功能如下：

- “Where the First objects matches（优先匹配的对象所处位置）”选项组：用于设置该规则优先应用的对象所处的位置。应用的对象范围为“所有”、“网络”、“网络类”、“层”、“网络和层”和“高级的（查询）”。选中某一范围后，可以在该选项后的下拉列表框中选择相应的对象，也可以在右侧的“全部询问语句”列表框中填写相应的对象。通常采用系统的默认设置，即点选“所有”单选钮。
- “Where the Second objects matches（次优先匹配的对象所处位置）”选项组：用于设置该规则次优先级应用的对象所处的位置。通常采用系统的默认设置，即点选“所有”单选钮。
- “约束”选项组：用于设置进行布线的最小间距。这里采用系统的默认设置。

（2）“Short-Circuit（短路规则）”：用于设置在 PCB 板上是否可以出现短路，如图 9-4 所示为该项设置示意图，通常情况下是不允许的。设置该规则后，拥有不同网络标号的对象相交时如果违反该规则，系统将报警并拒绝执行该布线操作。

（3）“UnRouted Net（取消布线网络规则）”：用于设置在 PCB 板上是否可以出现未连接的网络，如图 9-5 所示为该项设置示意图。




图 9-4　设置短路

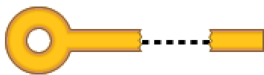


图 9-5　设置未连接网络

（4）“Unconnected Pin（未连接引脚规则）”：电路板中存在未布线的引脚时将违反该规则。系统在默认状态下无此规则。

2.“Routing（布线规则）”类设置

该类规则主要用于设置自动布线过程中的布线规则，如布线宽度、布线优先级、布线拓扑结构等。其中包括以下 8 种设计规则，如图 9-6 所示。

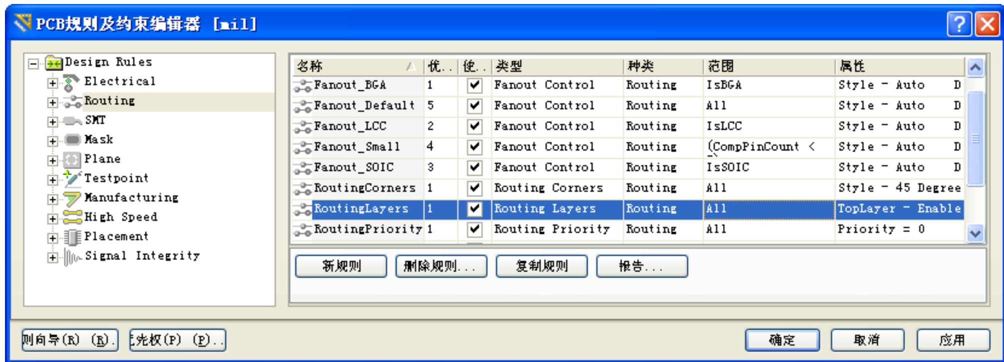



图 9-6　“Routing”（布线规则）选项

（1）“Width（走线宽度规则）”：用于设置走线宽度，如图 9-7 所示为该规则的设置界面。走线宽度是指 PCB 铜膜走线（即我们俗称的导线）的实际宽度值，包括最大允许值、最小允许值和首选值 3 个选项。

- “Where the First objects matches（优先匹配的对象所处位置）”选项组：用于设置布线宽度优先应用对象所处位置，与 Clearance（安全间距规则）中相关选项功能类似。
- “约束”选项组：用于限制走线宽度。勾选“Layers in layerstack（层栈中的层）”复选框，将列出当前层栈中各工作层的布线宽度规则设置；否则将显示所有层的布线宽度规则设置。布线宽度设置分为 Maximum（最大）、Minimum（最小）和 Preferred（首选）3 种，其主要目的是方便在线修改布线宽度。勾选“Charac teristic Impedance Driven Width（典型驱动阻抗宽度）”复选框时，将显示其驱动阻抗属性，这是高频高速布线过程中很重要的一个布线属性设置。驱动阻抗属性分为 Maximum Impedance（最大阻抗）、Miniimum Impedance（最小阻抗）和 Preferred Impedance（首选阻抗）3 种。

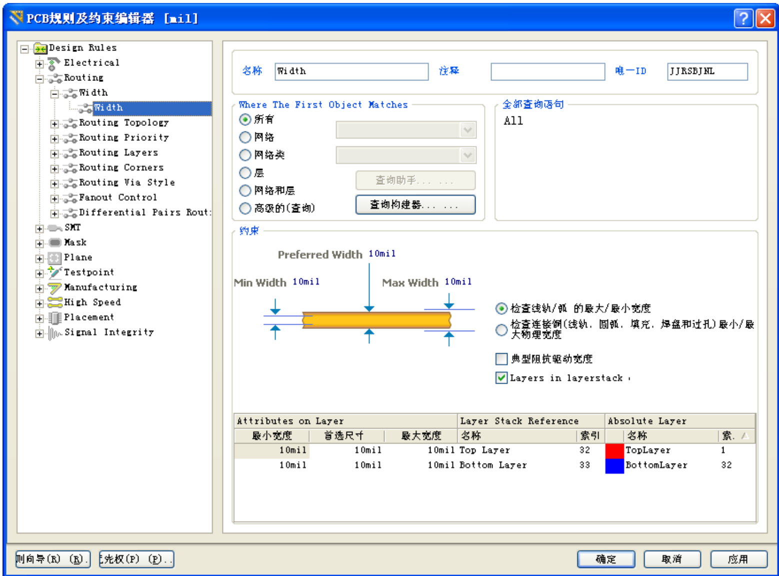



图 9-7 “Width”设置界面

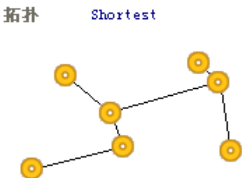



图 9-8 设置走线拓扑结构

（2）“Routing Topology（走线拓扑结构规则）”：用于选择走线的拓扑结构，如图 9-8 所示为该项设置的示意图。各种拓扑结构如图 9-9 所示。

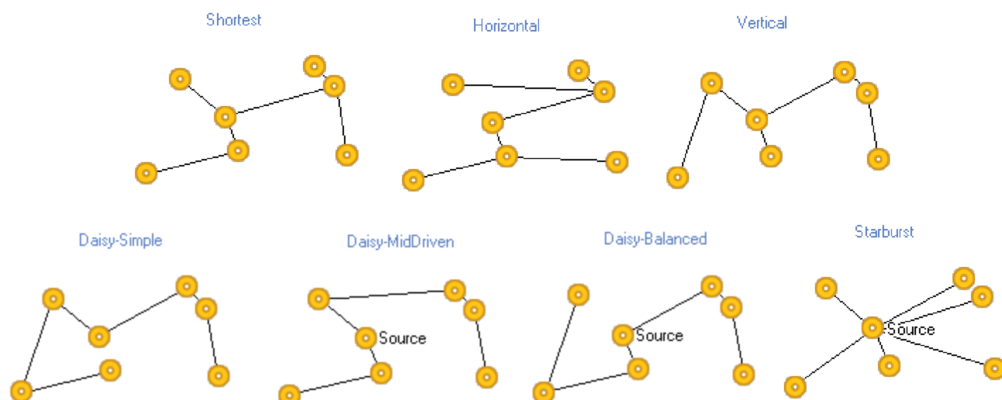



图 9-9 各种拓扑结构

（3）“Routing Priority（布线优先级规则）”：用于设置布线优先级，如图 9-10 所示为该规则的设置界面，在该对话框中可以对每一个网络设置布线优先级。PCB 板上的空间有限，可能有若干根导线需要在同一块区域内走线才能得到最佳的走线效果，通过设置走线的优先级可以决定导线占用空间的先后。设置规则时可以针对单个网络设置优先级。系统提供了 0～100 共 101 种优先级选择，0 表示优先级最低，100 表示优先级最高，默认的布线优先级规则为所有网络布线的优先级为 0。

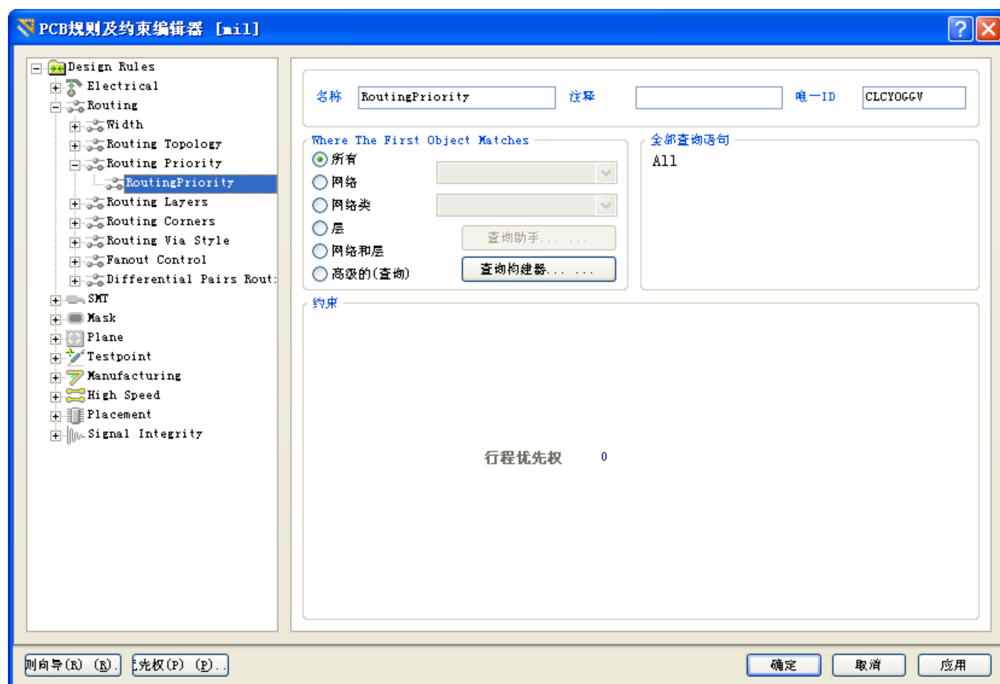



图 9-10 “Routing Priority”设置界面

（4）“Routing Layers（布线工作层规则）”：用于设置布线规则可以约束的工作层，如图 9-11 所示为该规则的设置界面。

（5）“Routing Corners（导线拐角规则）”：用于设置导线拐角形式，如图 9-12 所示为该规则的设置界面。PCB 上的导线有 3 种拐角方式，如图 9-13 所示，通常情况下会采用 45°的拐角形式。设置规则时可以针对每个连接、每个网络直至整个 PCB 设置导线拐角形式。

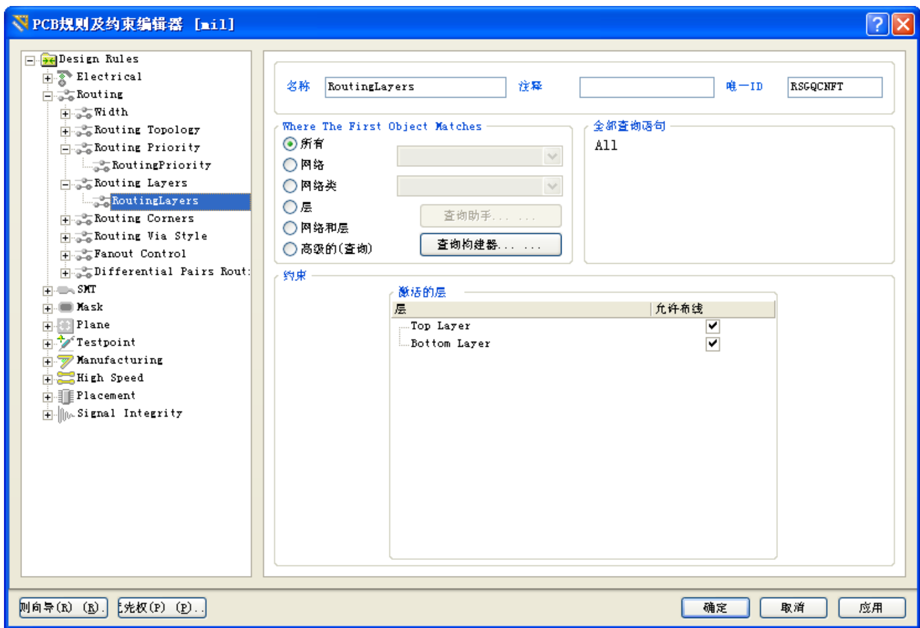



图 9-11 “Routing Layers”设置界面

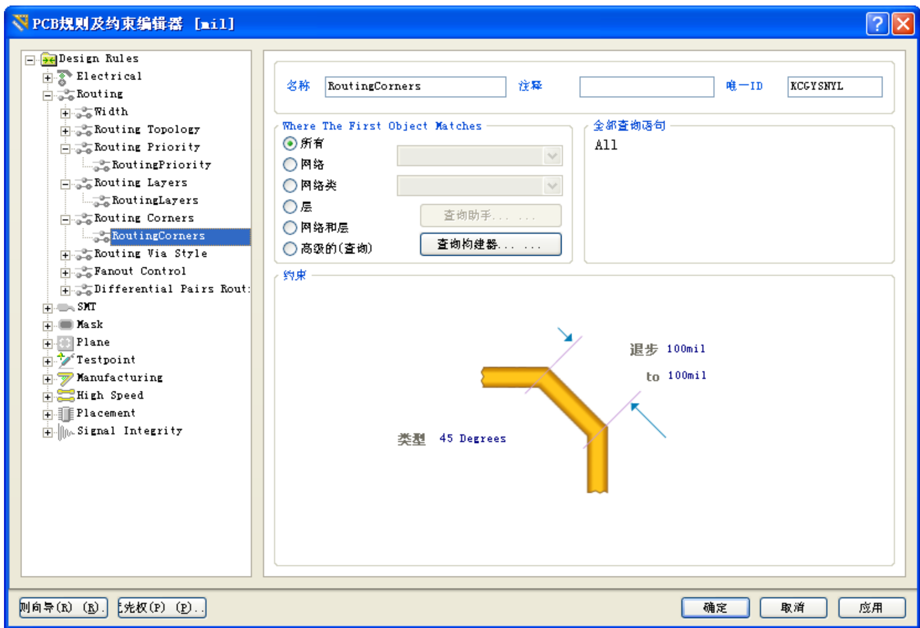



图 9-12 “Routing Corners”设置界面




图 9-13 PCB 上导线的 3 种拐角方式

（6）“Routing Via Style（布线过孔样式规则）”：用于设置走线时所用过孔的样式，如图 9-14 所示为该规则的设置界面，在该对话框中可以设置过孔的各种尺寸参数。过孔直径和钻孔孔径都包括 Maximum（最大）、Minimum（最小）和 Preferred（首选）3 种定义方式。默认的过孔直径为 50mil，过孔孔径为 28mil。在 PCB 的编辑过程中，可以根据不同的元件设置不同的过孔大小，钻孔尺寸应该参考实际元件引脚的粗细进行设置。

（7）“Fanout Control（扇出控制布线规则）”：用于设置走线时的扇出形式，如图 9-15 所示为该规则的设置界面。可以针对每一个引脚、每一个元件甚至整个 PCB 板设置扇出形式。

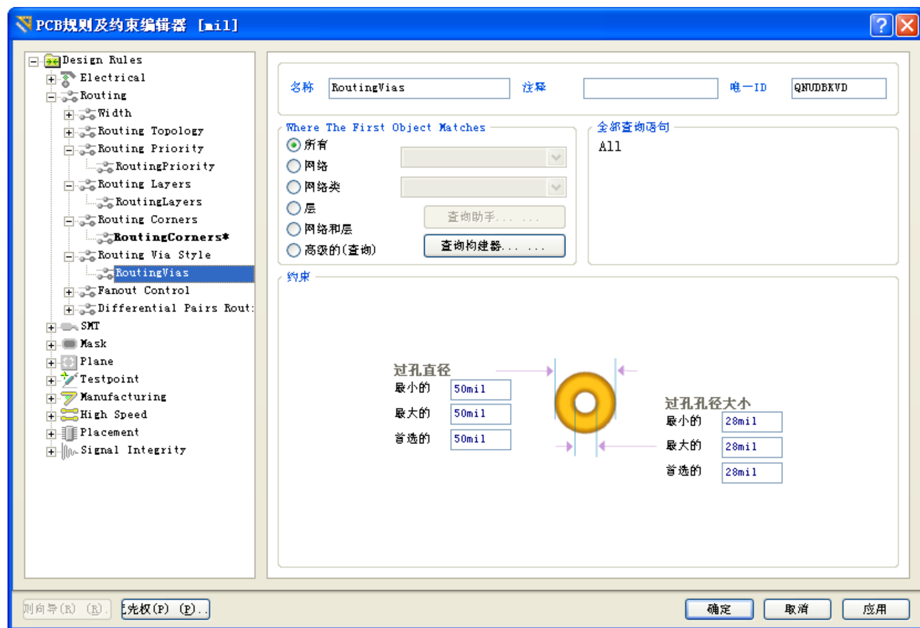



图 9-14 “Routing Via Style”设置界面

（8）“Differential Pairs Routing（差分对布线规则）”：用于设置走线对形式，如图 9-16 所示为该规则的设置界面。

3．“SMT（表贴封装规则）”类设置

该类规则主要用于设置表面安装型元件的走线规则，其中包括以下 3 种设计规则：

- “SMD To Corner（表面安装元件的焊盘与导线拐角处最小间距规则）”：用于设置面安装元件的焊盘出现走线拐角时，拐角和焊盘之间的距离，如图 9-17a 所示。通

常，走线时引入拐角会导致电信号的反射，引起信号之间的串扰，因此需要限制从焊盘引出的信号传输线至拐角的距离，以减小信号串扰。可以针对每一个焊盘、每一个网络直至整个 PCB 设置拐角和焊盘之间的距离，默认间距为 0mil。

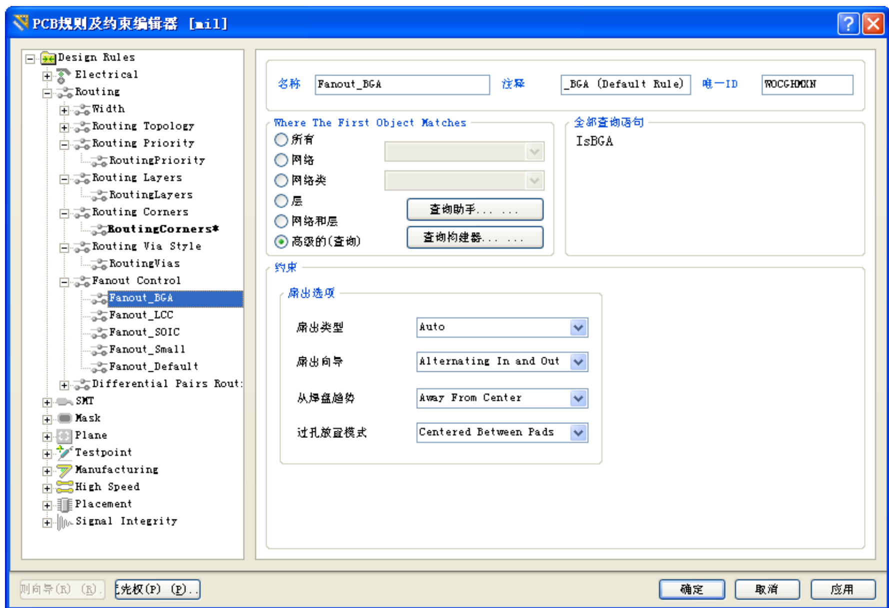



图 9-15 “Fanout Control”设置界面

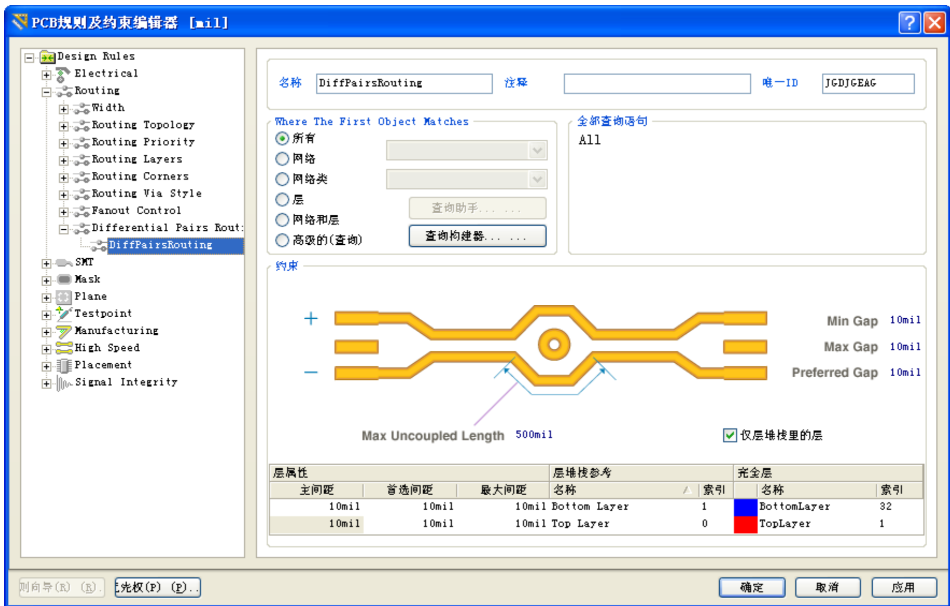



图 9-16 “Differential Pairs Routing”设置界面

● “SMD To Plane（表面安装元件的焊盘与中间层间距规则）”：用于设置表面安装元件的焊盘连接到中间层的走线距离。该项设置通常出现在电源层向芯片的电源引

脚供电的场合。可以针对每一个焊盘、每一个网络直至整个 PCB 板设置焊盘和中间层之间的距离，默认间距为 0mil。

- “SMD Neck Down（表面安装元件的焊盘颈缩率规则）”：用于设置表面安装元件的焊盘连线的导线宽度，如图 9-17b 所示。在该规则中可以设置导线线宽上限占据焊盘宽度的百分比，通常走线总是比焊盘要小。可以根据实际需要对每一个焊盘、每一个网络甚至整个 PCB 板设置焊盘上的走线宽度与焊盘宽度之间的最大比率，默认值为 50%。

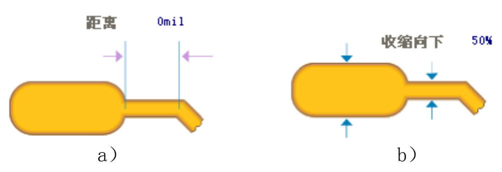



图 9-17　“SMT”（表贴封装规则）的设置

4．“Mask（阻焊规则）”类设置

该类规则主要用于设置阻焊剂铺设的尺寸，主要用在 Output Generation（输出阶段）进程中。系统提供了 Top Paster（顶层锡膏防护层）、Bottom Paster（底层锡膏防护层）、Top Solder（顶层阻焊层）和 Bottom Solder（底层阻焊层）4 个阻焊层，其中包括以下两种设计规则：

- “Solder Mask Expansion（阻焊层和焊盘之间的间距规则）”：通常，为了焊接的方便，阻焊剂铺设范围与焊盘之间需要预留一定的空间。如图 9-18 所示为该规则的设置界面。可以根据实际需要对每一个焊盘、每一个网络甚至整个 PCB 板设置该间距，默认距离为 4mil。

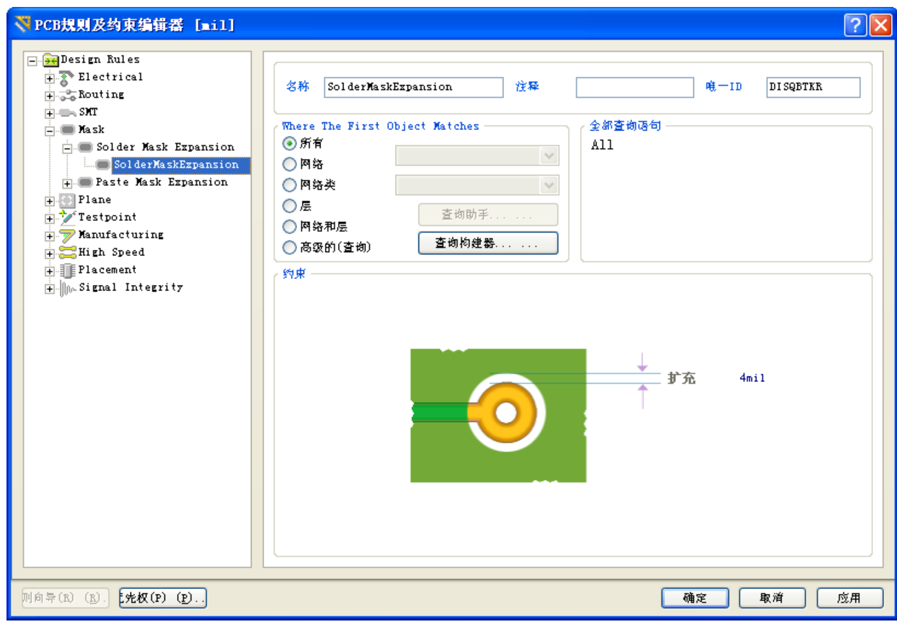



图 9-18　“Solder Mask Expansion”设置界面

- “Paste Mask Expansion（锡膏防护层与焊盘之间的间距规则）”：如图 9-19 所示为该规则的设置界面。可以根据实际需要对每一个焊盘、每一个网络甚至整个 PCB 设置该间距，默认距离为 0mil。

阻焊层规则也可以在焊盘的属性对话框中进行设置，可以针对不同的焊盘进行单独的设置。在属性对话框中，用户可以选择遵循设计规则中的设置，也可以忽略规则中的设置而采用自定义设置。

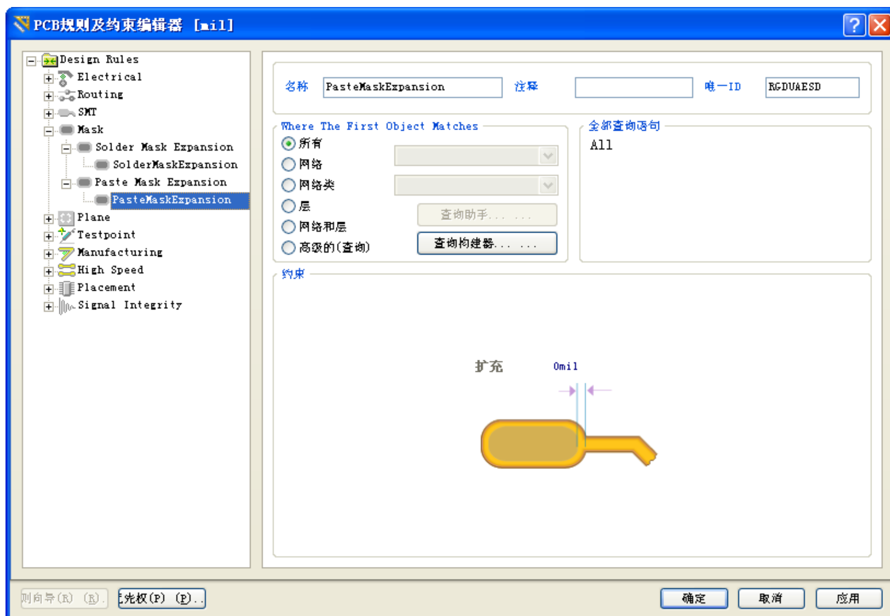



图 9-19 “Paste Mask Expansion”设置界面

5.“Plane（中间层布线规则）”类设置

该类规则主要用于设置中间电源层布线相关的走线规则，其中包括以下 3 种设计规则：

（1）“Power Plane Connect Style（电源层连接类型规则）”：用于设置电源层的连接形式，如图 9-20 所示为该规则的设置界面，在该界面中可以设置中间层的连接形式和各种连接形式的参数。

- “Connect Style（连接类型）”下拉列表框：连接类型可分为 No Connect（电源层与元件引脚不相连）、Direct Connect（电源层与元件的引脚通过实心的铜箔相连）和 Relief Connect（使用散热焊盘的方式与焊盘或钻孔连接）3 种。默认设置为 Relief Connect（使用散热焊盘的方式与焊盘或钻孔连接）。
- “Conductors（导体）”选项：散热焊盘组成导体的数目，默认值为 4。
- “Conductor Width（导体宽度）”选项：散热焊盘组成导体的宽度，默认值为 10mil。
- “Air-Gap（空气隙）”选项：散热焊盘钻孔与导体之间的空气间隙宽度，默认值为 10mil。
- “Expansion（扩张）”选项：钻孔的边缘与散热导体之间的距离，默认值为 20mil。

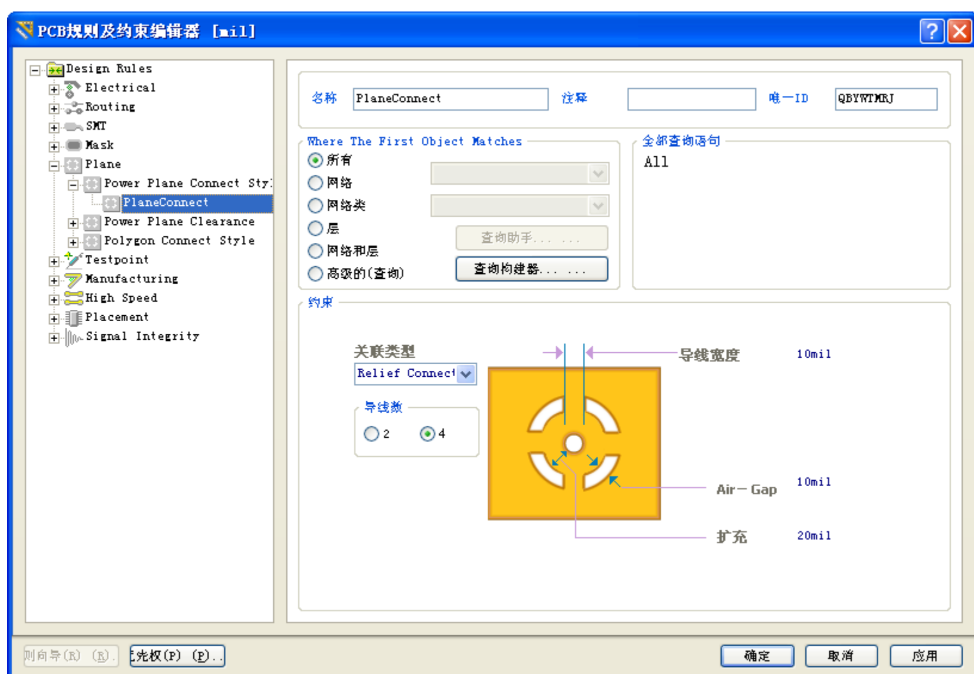



图 9-20 “Power Plane Connect Style”设置界面

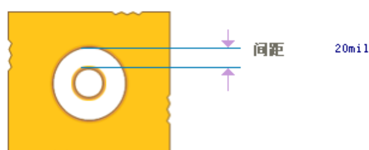



图 9-21 设置电源层安全间距规则

（2）“Power Plane Clearance（电源层安全间距规则）”：用于设置通孔通过电源层时的间距，如图 9-21 所示为该规则的设置示意图，在该示意图中可以设置中间层的连接形式和各种连接形式的参数。通常，电源层将占据整个中间层，因此在有通孔（通孔焊盘或者过孔）通过电源层时需要一定的间距。考虑到电源层的电流比较大，这里的间距设置也比较大。

（3）“Polygan Connect Style（焊盘与多边形覆铜区域的连接类型规则）”：用于描述元件引脚焊盘与多边形覆铜之间的连接类型，如图 9-22 所示为该规则的设置界面。

- “Connect Style（连接类型）”下拉列表框：连接类型可分为 No Connect（覆铜与焊盘不相连）、Direct Connect（覆铜与焊盘通过实心的铜箔相连）和 Relief Connect（使用散热焊盘的方式与焊盘或孔连接）3 种。默认设置为 Relief Connect（使用散热焊盘的方式与焊盘或钻孔连接）。
- “Conductors（导体）”选项：散热焊盘组成导体的数目，默认值为 4。
- “Conductor Width（导体宽度）”选项：散热焊盘组成导体的宽度，默认值为 10mil。
- “Angle（角度）”选项：散热焊盘组成导体的角度，默认值为 90°。

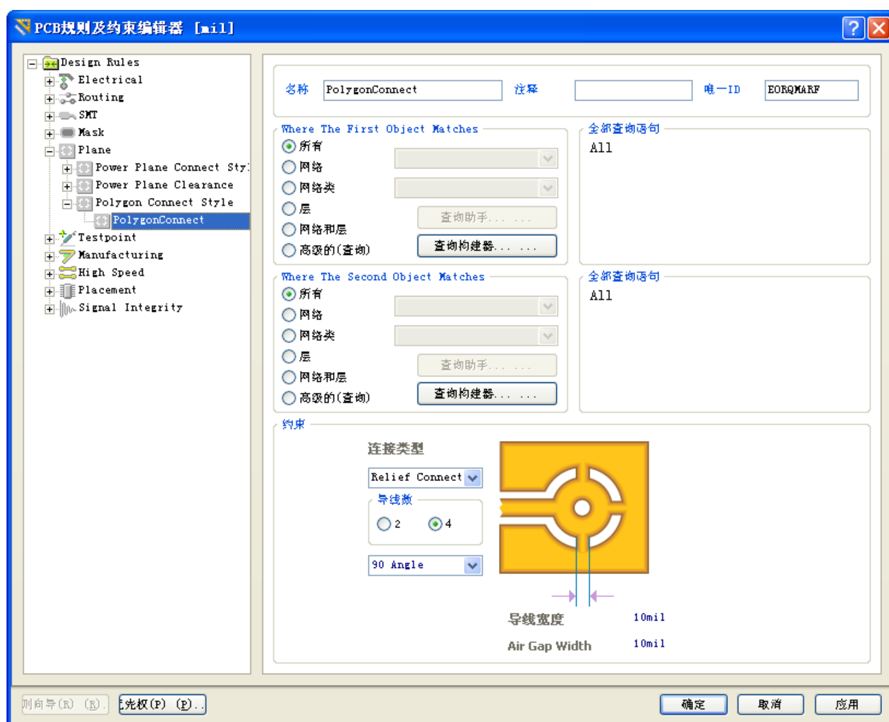



图 9-22 “Polygan Connect Style”设置界面

6．“Testpoint”（测试点规则）类设置

该类规则主要用于设置测试点布线规则，其中包括以下两种设计规则：

（1）“FabricationTestpoint（装配测试点）”：用于设置测试点的形式，如图 9-23 所示为该规则的设置界面，在该界面中可以设置测试点的形式和各种参数。为了方便电路板的调试，在 PCB 板上引入了测试点。测试点连接在某个网络上，形式和过孔类似，在调试过程中可以通过测试点引出电路板上的信号，可以设置测试点的尺寸以及是否允许在元件底部生成测试点等各项选项。

该项规则主要用在自动布线器、在线 DRC 和批处理 DRC、Output Generation（输出阶段）等系统功能模块中，其中在线 DRC 和批处理 DRC 检测该规则中除了首选尺寸和首选钻孔尺寸外的所有属性。自动布线器使用首选尺寸和首选钻孔尺寸属性来定义测试点焊盘的大小。

（2）“FabricationTestPointUsage（装配测试点使用规则）”：用于设置测试点的使用参数，如图 9-24 所示为该规则的设置界面，在界面中可以设置是否允许使用测试点和同一网络上是否允许使用多个测试点。

- “必需的”单选钮：每一个目标网络都使用一个测试点。该项为默认设置。
- “禁止的”单选钮：所有网络都不使用测试点。
- “无所谓”单选钮：每一个网络可以使用测试点，也可以不使用测试点。
- “允许更多测试点（手动分配）”复选框：勾选该复选框后，系统将允许在一个网络上使用多个测试点。默认设置为取消对该复选框的勾选。

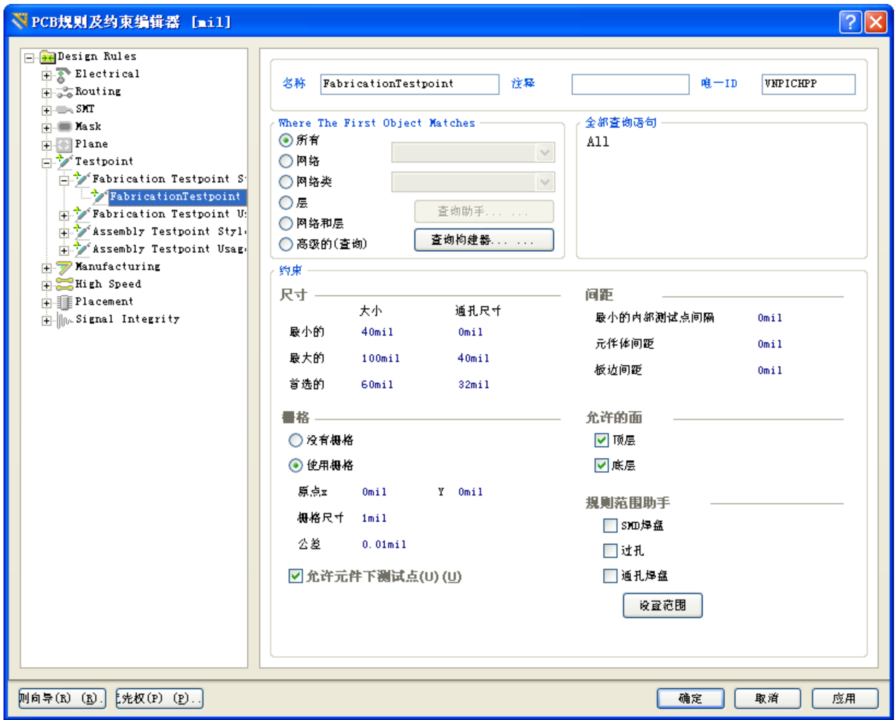



图 9-23 “Testpoint Style”设置界面

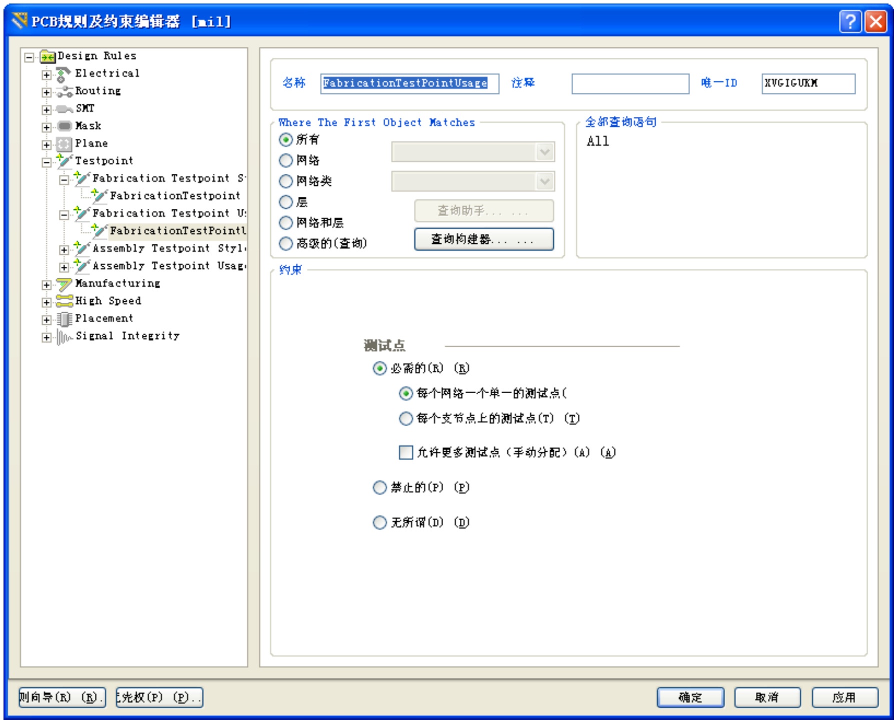



图 9-24 “FabricationTestPointUsage”界面

7．“Manufacturing”（生产制造规则）类设置

该类规则是根据 PCB 制作工艺来设置有关参数，主要用在在线 DRC 和批处理 DRC 执行过程中，其中包括以下 9 种设计规则：

（1）“Minimum Annular Ring（最小环孔限制规则）”：用于设置环状图元内外径间距下限，如图 9-25 所示为该规则的设置界面。在 PCB 设计时引入的环状图元（如过孔）中，如果内径和外径之间的差很小，在工艺上可能无法制作出来，此时的设计实际上是无效的。通过该项设置可以检查出所有工艺无法达到的环状物。默认值为 10mil。

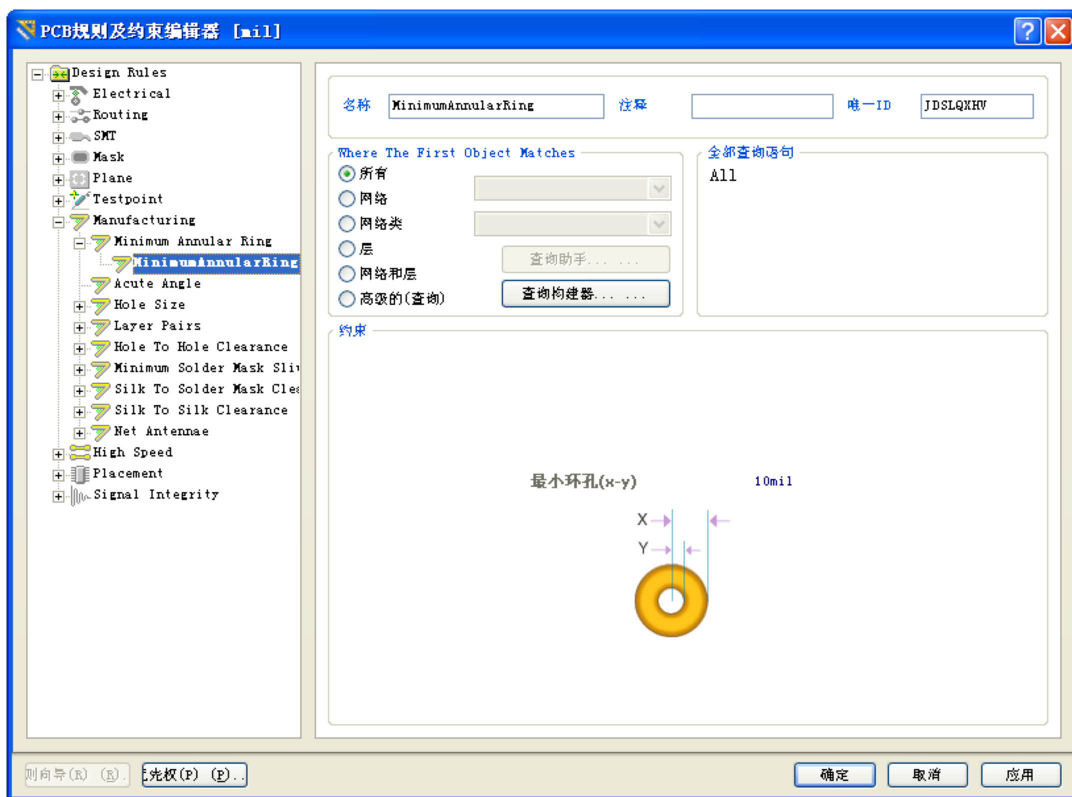



图 9-25 “Minimum Annular Ring”设置界面

（2）“Acute Angle（锐角限制规则）”：用于设置锐角走线角度限制，如图 9-26 所示为该规则的设置界面。在 PCB 设计时如果没有规定走线角度最小值，则可能出现拐角很小的走线，工艺上可能无法做到这样的拐角，此时的设计实际上是无效的。通过该项设置可以检查出所有工艺无法达到的锐角走线。默认值为 90°。

（3）“Hole Size（钻孔尺寸设计规则）”：用于设置钻孔孔径的上限和下限，如图 9-27 所示为该规则的设置界面。与设置环状图元内外径间距下限类似，过小的钻孔孔径可能在工艺上无法制作，从而导致设计无效。通过设置通孔孔径的范围，可以防止 PCB 设计出现类似错误。

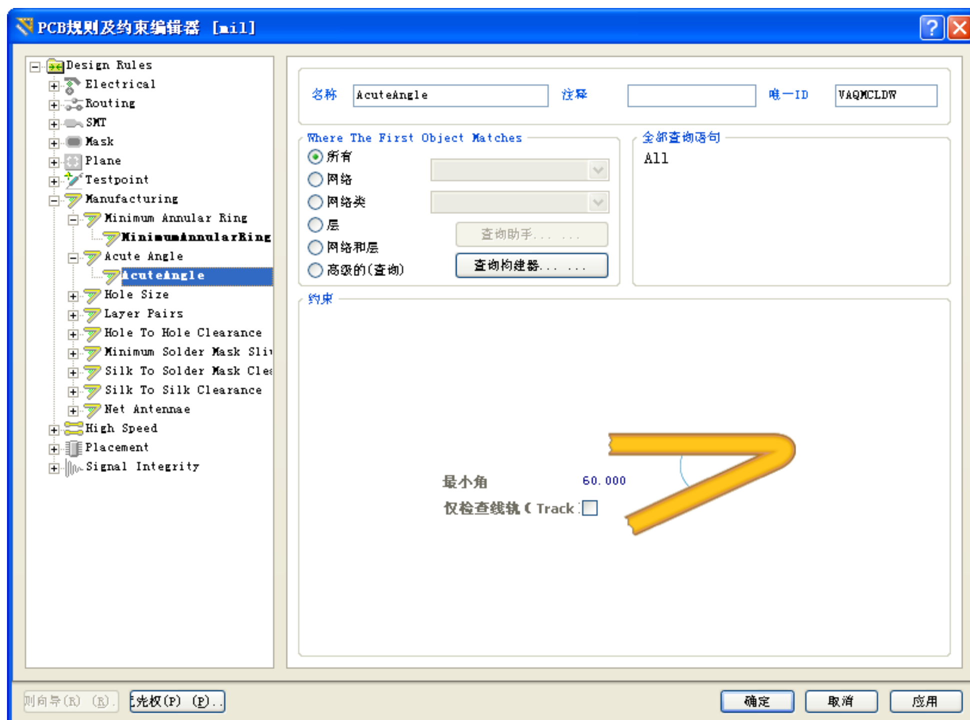



图 9-26 “Acute Angle”设置界面




图 9-27 “Hole Size”设置界面

- “测量方法”选项：度量孔径尺寸的方法有 Absolute（绝对值）和 Percent（百分数）两种。默认设置为 Absolute（绝对值）。
- “最小的”选项：设置孔径最小值。Absolute（绝对值）方式的默认值为 1mil，Percent（百分数）方式的默认值为 20%。
- “最大的”选项：设置孔径最大值。Absolute（绝对值）方式的默认值为 100mil，Percent（百分数）方式的默认值为 80%。

（4）“Layer Pairs（工作层对设计规则）”：用于检查使用的 Layer-pairs（工作层对）是否与当前的 Drill-pairs（钻孔对）匹配。使用的 Layer-pairs（工作层对）是由板上的过孔和焊盘决定的，Layer-pairs（工作层对）是指一个网络的起始层和终止层。该项规则除了应用于在线 DRC 和批处理 DRC 外，还可以应用在交互式布线过程中。“Enforce layer pairs settings（强制执行工作层对规则检查设置）”复选框：用于确定是否强制执行此项规则的检查。勾选该复选框时，将始终执行该项规则的检查。

8．“High Speed（高速信号相关规则）”类设置

该类工作主要用于设置高速信号线布线规则，其中包括以下 6 种设计规则：

（1）“Parallel Segment（平行导线段间距限制规则）”：用于设置平行走线间距限制规则，如图 9-28 所示为该规则的设置界面。在 PCB 的高速设计中，为了保证信号传输正确，需要采用差分线对来传输信号，与单根线传输信号相比可以得到更好的效果。在该对话框中可以设置差分线对的各项参数，包括差分线对的层、间距和长度等。

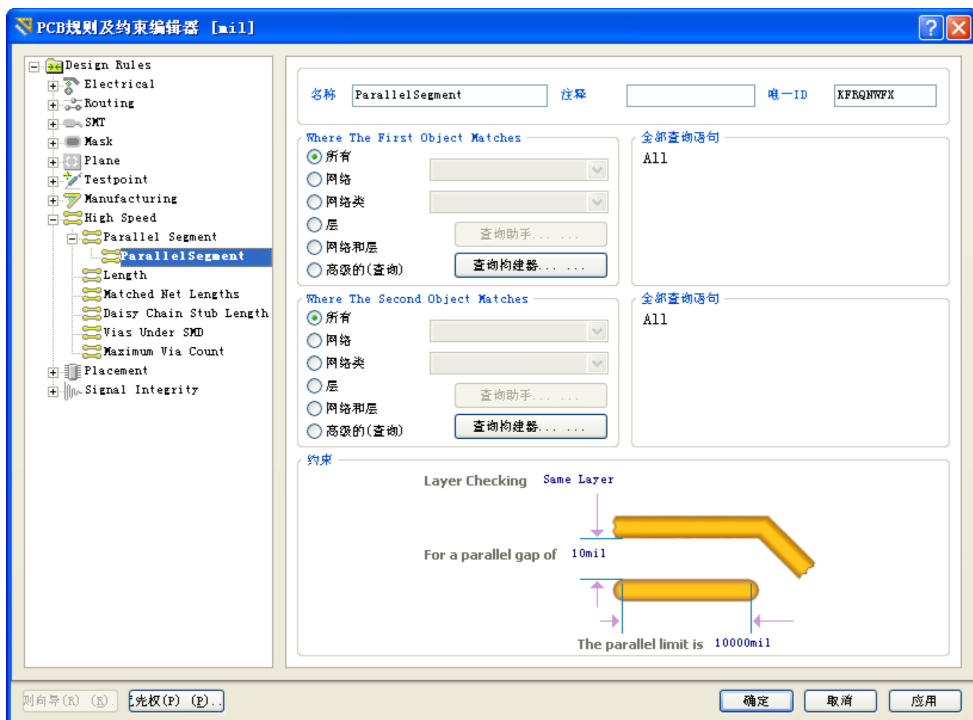



图 9-28　“Parallel Segment”设置界面

- “Layer Checking（层检查）”选项：用于设置两段平行导线所在的工作层面属性，有 Same Layer（位于同一个工作层）和 Adjacent Layers（位于相邻的工作层）两种选择。默认设置为 Same Layer（位于同一个工作层）。
- “For a parallel gap of（平行线间的间隙）”选项：用于设置两段平行导线之间的距离。默认设置为 10mil。
- “The parallel limit is（平行线的限制）”选项：用于设置平行导线的最大允许长度（在使用平行走线间距规则时）。默认设置为 10000mil。

（2）“Length（网络长度限制规则）”：用于设置传输高速信号导线的长度，如图 9-29 所示为该规则的设置界面。在高速 PCB 设计中，为了保证阻抗匹配和信号质量，对走线长度也有一定的要求。在该对话框中可以设置走线的下限和上限。

（3）“Matched Net Lengths（匹配网络传输导线的长度规则）”：用于设置匹配网络传输导线的长度，如图 9-30 所示为该规则的设置界面。在高速 PCB 设计中通常需要对部分网络的导线进行匹配布线，在该界面中可以设置匹配走线的各项参数。

- “Tolerance（公差）”选项：在高频电路设计中要考虑到传输线的长度问题，传输线太短将产生串扰等传输线效应。该项规则定义了一个传输线长度值，将设计中的走线与此长度进行比较，当出现小于此长度的走线时，单击菜单栏中的“工具”→“Equalize Net Lengths（延长网络走线长度）”命令，系统将自动延长走线的长度以满足此处的设置需求。默认设置为 1000mil。

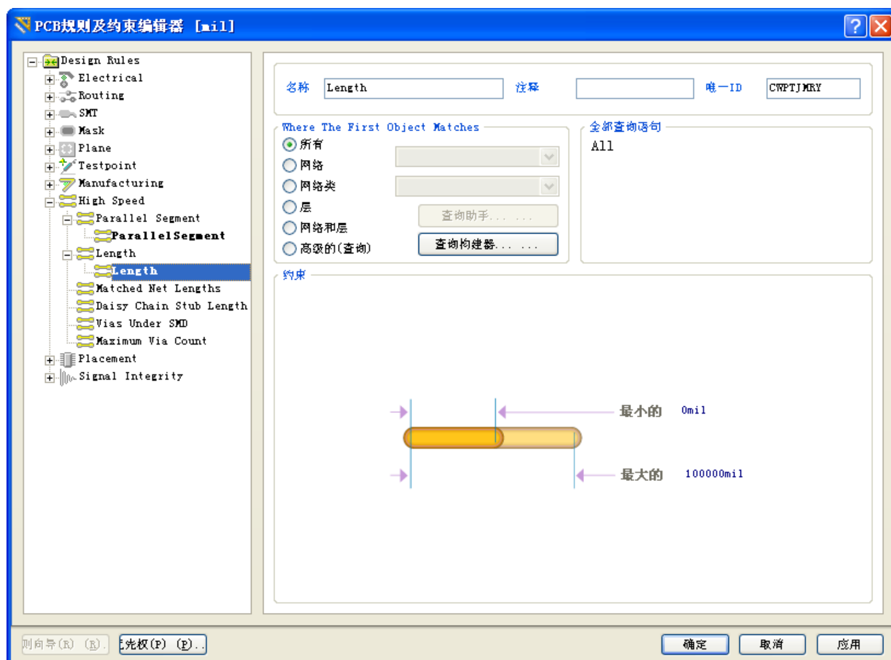



图 9-29 “Length”设置界面

- “Style（类型）”选项：单击菜单栏中的“工具”→“网络等长”命令，添加延长导线长度时的走线类型。可选择的类型有 90 Degrees（90°，为默认设置）、45 Degrees（45°）和 Rounded（圆形）3 种。其中，90 Degrees（90°）类型可添加

的走线容量最大，45 Degrees（45°）类型可添加的走线容量最小。

- “Gap（间隙）”选项：如图 9-30 所示，默认值为 20mil。
- “Amplitude（振幅）”选项：用于定义添加走线的摆动幅度值。默认值为 200mil。

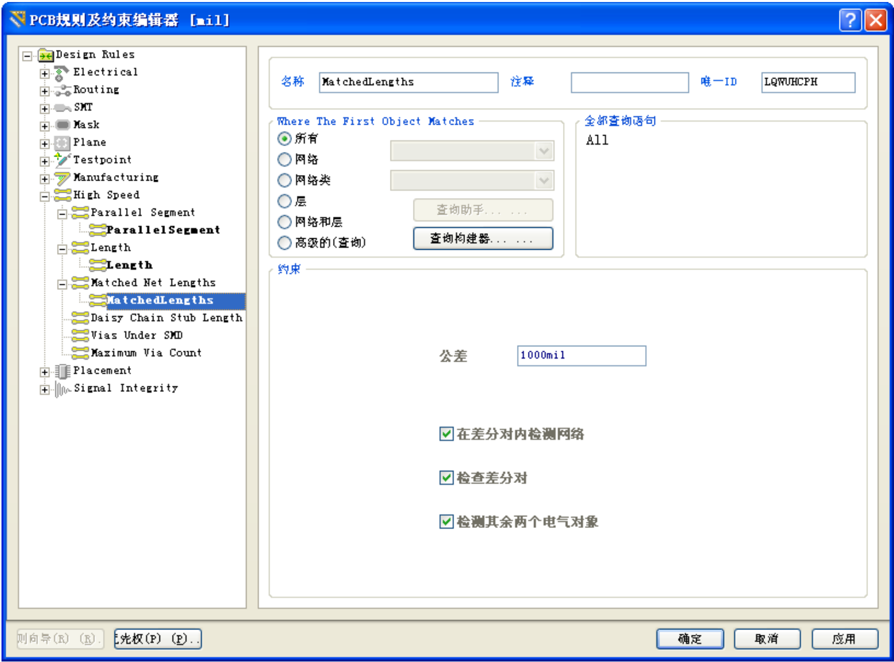



图 9-30 “Matched Net Lengths”设置

（4）“Daisy Chain Stub Length（菊花状布线主干导线长度限制规则）”：用于设置 90°拐角和焊盘的距离，如图 9-31 所示为该规则的设置示意图。在高速 PCB 设计中，通常情况下为了减少信号的反射是不允许出现 90°拐角的，在必须有 90°拐角的场合中将引入焊盘和拐角之间距离的限制。

（5）“Vias Under SMD（SMD 焊盘下过孔限制规则）”：用于设置表面安装元件焊盘下是否允许出现过孔，如图 9-32 所示为该规则的设置示意图。在 PCB 中需要尽量减少表面安装元件焊盘中引入过孔，在特殊情况下（如中间电源层通过过孔向电源引脚供电）可以引入过孔。

（6）“Maximun Via Count（最大过孔数量限制规则）”：用于设置布线时过孔数量的上限。默认设置为 1000。

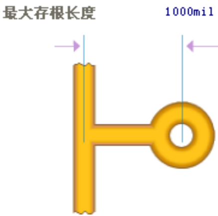



图 9-31 设置菊花状布线主干导线长度限制规则




图 9-32 设置 SMD 焊盘下过孔限制规则

9．“Placement（元件放置规则）”类设置

该类规则用于设置元件布局的规则。在布线时可以引入元件的布局规则，这些规则一般只在对元件布局有严格要求的场合中使用。前面章节已经有详细介绍，这里不再赘述。

10．“Signal Integrity（信号完整性规则）”类设置

该类规则用于设置信号完整性所涉及的各项要求，如对信号上升沿、下降沿等的要求。这里的设置会影响到电路的信号完整性仿真，对其进行简单介绍。

- “Signal Stimulus（激励信号规则）”：如图 9-33 所示为该规则的设置示意图。激励信号的类型有 Constant Level（直流）、Single Pulse（单脉冲信号）、Periodic Pulse（周期性脉冲信号）3 种。还可以设置激励信号初始电平（低电平或高电平）、开始时间、终止时间和周期等。
- “Overshoot-Falling Edge（信号下降沿的过冲约束规则）”：如图 9-34 所示为该项设置示意图。
- “Overshoot- Rising Edge（信号上升沿的过冲约束规则）”：如图 9-35 所示为该项设置示意图。

激励类型(K) (K) Single Pulse
开始级别(L) (L) Low Level
开始时间(A) (A) 10.00n
停止时间(O) (O) 60.00n
时间周期(P) (P) 100.00n

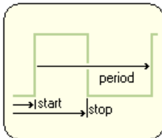



图 9-33　激励信号规则

最大(Volts)(M) (M) 1.000

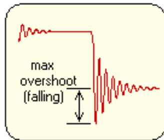



图 9-34　下降沿过冲约束规则

最大(Volts)(M) (M) 1.000




图 9-35　上升沿过冲约束规则

- “Undershoot-Falling Edge（信号下降沿的反冲约束规则）”：如图 9-36 所示为该项设置示意图。
- “Undershoot-Rising Edge（信号上升沿的反冲约束规则）”：如图 9-37 所示为该项设置示意图。
- “Impedance（阻抗约束规则）”：如图 9-38 所示为该规则的设置示意图。
- “Signal Top Value（信号高电平约束规则）”：用于设置高电平最小值。如图 9-39 所示为该项设置示意图。

最大(Volts)(M) (M) 1.000

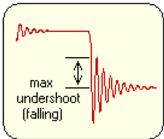



图 9-36　信号下降沿的反冲约束规则

最大(Volts)(M) (M) 1.000

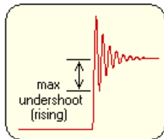



图 9-37　信号上升沿的反冲约束规则

最小(Ohms)(N) (N) 1.000
最大(Ohms)(X) (X) 10.00

图 9-38　阻抗约束规则

- “Signal Base Value（信号基准约束规则）”：用于设置低电平最大值。如图 9-40 所示为该项设置示意图。
- “Flight Time-Rising Edge（上升沿的上升时间约束规则）”：如图 9-41 所示为该规则设置示意图。

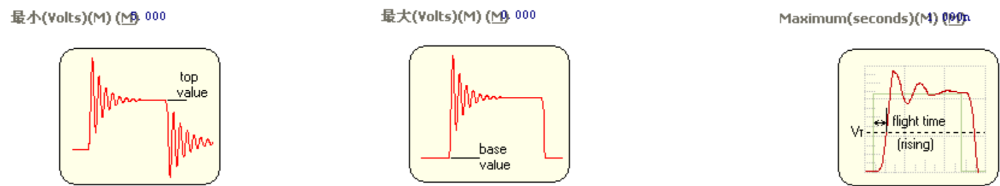



图 9-39 信号高电平约束规则　　图 9-40 信号基准约束规则规则　　图 9-41 上升沿的上升时间约束

- “Flight Time-Falling Edge（下降沿的下降时间约束规则）”：如图 9-42 所示为该规则设置示意图。
- “Slope-Rising Edge（上升沿斜率约束规则）”：如图 9-43 所示为该规则的设置示意图。
- “Slope-Falling Edge（下降沿斜率约束规则）”：如图 9-44 所示为该规则的设置示意图。

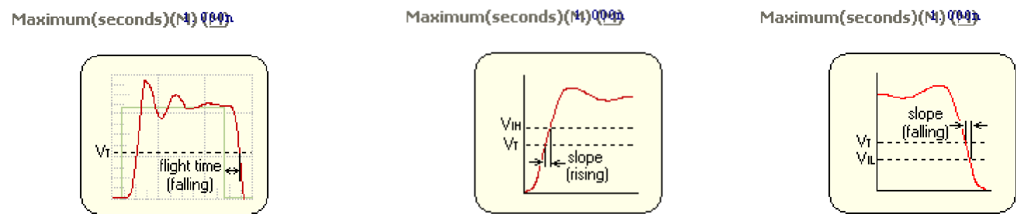



图 9-42 下降沿的下降时间约束规则　　图 9-43 上升沿斜率约束规则　　图 9-44 下降沿斜率约束规则

- “Supply Nets”：用于提供网络约束规则。

从以上对 PCB 布线规则的说明可知，Altium Design 13 对 PCB 布线作了全面规定。这些规定只有一部分运用在元件的自动布线中，而所有规则将运用在 PCB 的 DRC 检测中。在对 PCB 手动布线时可能会违反设定的 DRC 规则，在对 PCB 板进行 DRC 检测时将检测出所有违反这些规则的地方。

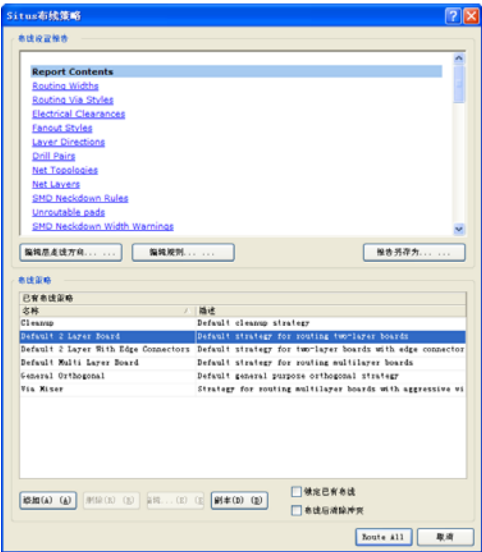



图 9-45 “Situs 布线策略”对话框

## 9.1.2 设置 PCB 自动布线的策略

设置 PCB 自动布线策略的操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“自动布线”→“设置”命令，系统将弹出如图 9-45 所示的“Situs 布线策略（布线位置策略）”对话框。在该对话框中可以设置自动布线策略。布线策略是指印制电路板自动布线时所采取的策略，如探索式布线、迷宫式布线、推挤式拓扑布线等。其中，自动布线的布通率依赖于良好的布局。

在“Situs 布线策略（布线位置策略）”对话框中列出了默认的 5 种自动布线策略，功能分别如下：对默认的布线策略不允许进行编辑和删除操作。

- Cleanup（清除）：用于清除策略。
- Default 2 Layer Board（默认双面板）：用于默认的双面板布线策略。
- Default 2 Layer With Edge Connectors（默认具有边缘连接器的双面板）：用于默认的具有边缘连接器的双面板布线策略。
- Default Multi Layer Board（默认多层板）：用于默认的多层板布线策略。
- Via Miser（少用过孔）：用于在多层板中尽量减少使用过孔策略。

勾选“锁定已有布线”复选框后，所有先前的布线将被锁定，重新自动布线时将不改变这部分的布线。

单击“添加”按钮，系统将弹出如图 9-46 所示的“Situs 布线策略”对话框。在该对话框中可以添加新的布线策略。

Step2 在“策略名称”文本框中填写添加的新建布线策略的名称，在“策略描述”文本框中填写对该布线策略的描述。可以通过拖动文本框下面的滑块来改变此布线策略允许的过孔数目，过孔数目越多自动布线越快。

Step3 选择左边的 PCB 布线策略列表框中的一项，然后单击“应用”按钮，此布线策略将被添加到右侧当前的 PCB 布线策略列表框中，作为新创建的布线策略中的一项。如果想要删除右侧列表框中的某一项，则选择该项后单击“移除”按钮即可删除。单击“上移”按钮或“下移”按钮可以改变各个布线策略的优先级，位于最上方的布线策略优先级最高。

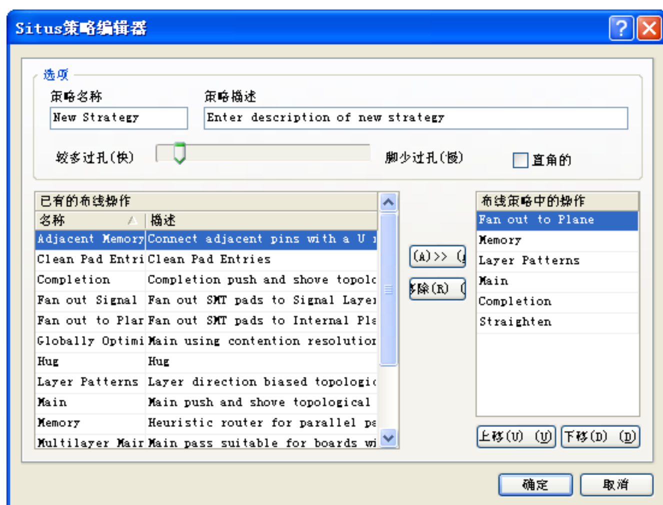



图 9-46 “Situs 策略编辑器”对话框

Altium Design 13 布线策略列表框中主要有以下几种布线方式：

- “Adjacent Memory（相邻的存储器）”布线方式：U 型走线的布线方式。采用这种布线方式时，自动布线器对同一网络中相邻的元件引脚采用 U 型走线方式。
- “Clean Pad Entries（清除焊盘走线）”布线方式：清除焊盘冗余走线。采用这种布线方式可以优化 PCB 的自动布线，清除焊盘上多余的走线。

- “Completion（完成）”布线方式：竞争的推挤式拓扑布线。采用这种布线方式时，布线器对布线进行推挤操作，以避开不在同一网络中的过孔和焊盘。
- “Fan Out Signal（扇出信号）”布线方式：表面安装元件的焊盘采用扇出形式连接到信号层。当表面安装元件的焊盘布线跨越不同的工作层时，采用这种布线方式可以先从该焊盘引出一段导线，然后通过过孔与其他的工作层连接。
- “Fan Out to Plane（扇出平面）”布线方式：表面安装元件的焊盘采用扇出形式连接到电源层和接地网络中。
- “Globally optimized Main（全局主要的最优化）”布线方式：全局最优化拓扑布线方式。
- “Hug（环绕）”布线方式：采用这种布线方式时，自动布线器将采取环绕的布线方式。
- “Layer Patterns（层样式）”布线方式：采用这种布线方式将决定同一工作层中的布线是否采用布线拓扑结构进行自动布线。
- “Main（主要的）”布线方式：主推挤式拓扑驱动布线。采用这种布线方式时，自动布线器对布线进行推挤操作，以避开不在同一网络中的过孔和焊盘。
- “Memory（存储器）”布线方式：启发式并行模式布线。采用这种布线方式将对存储器元件上的走线方式进行最佳的评估。对地址线和数据线一般采用有规律的并行走线方式。
- “Multilayer Main（主要的多层）”布线方式：多层板拓扑驱动布线方式。
- “Spread（伸展）”布线方式：采用这种布线方式时，自动布线器自动使位于两个焊盘之间的走线处于正中间的位置。
- “Straighten（伸直）”布线方式：采用这种布线方式时，自动布线器在布线时将尽量走直线。

Step4 单击“Situs 布线策略”对话框中的“编辑规则”按钮，对布线规则进行设置。

Step5 布线策略设置完毕单击“确定”按钮。

### 9.1.3 电路板自动布线的操作过程

布线规则和布线策略设置完毕后，用户即可进行自动布线操作。自动布线操作主要是通过“自动布线”菜单进行的。用户不仅可以进行整体布局，也可以对指定的区域、网络及元件进行单独的布线。

1.“All”（所有）命令

该命令用于为全局自动布线，其操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“自动布线”→“全部”命令，系统将弹出“Situs 布线策略（布线位置策略）”对话框。在该对话框中可以设置自动布线策略。

Step2 选择一项布线策略，然后单击“Route All（布线所有）”按钮即可进入自动布线状态。这里选择系统默认的“Default 2 Layer Board（默认双面板）”策略。布线过程中将自动弹出“Messages（信息）”面板，提供自动布线的状态信息，如图 9-47 所示。由最后

一条提示信息可知，此次自动布线全部布通。

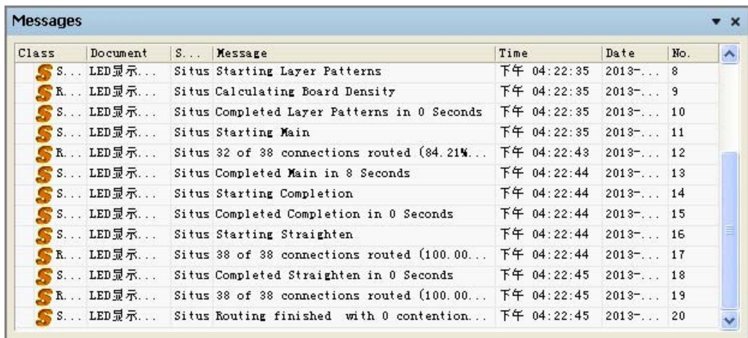



图 9-47 “Messages”面板

Step3 全局布线后的 PCB 图如图 9-48 所示。

当器件排列比较密集或者布线规则设置过于严格时，自动布线可能不会完全布通。即使完全布通的 PCB 电路板仍会有部分网络走线不合理，如绕线过多、走线过长等，此时就需要进行手动调整了。

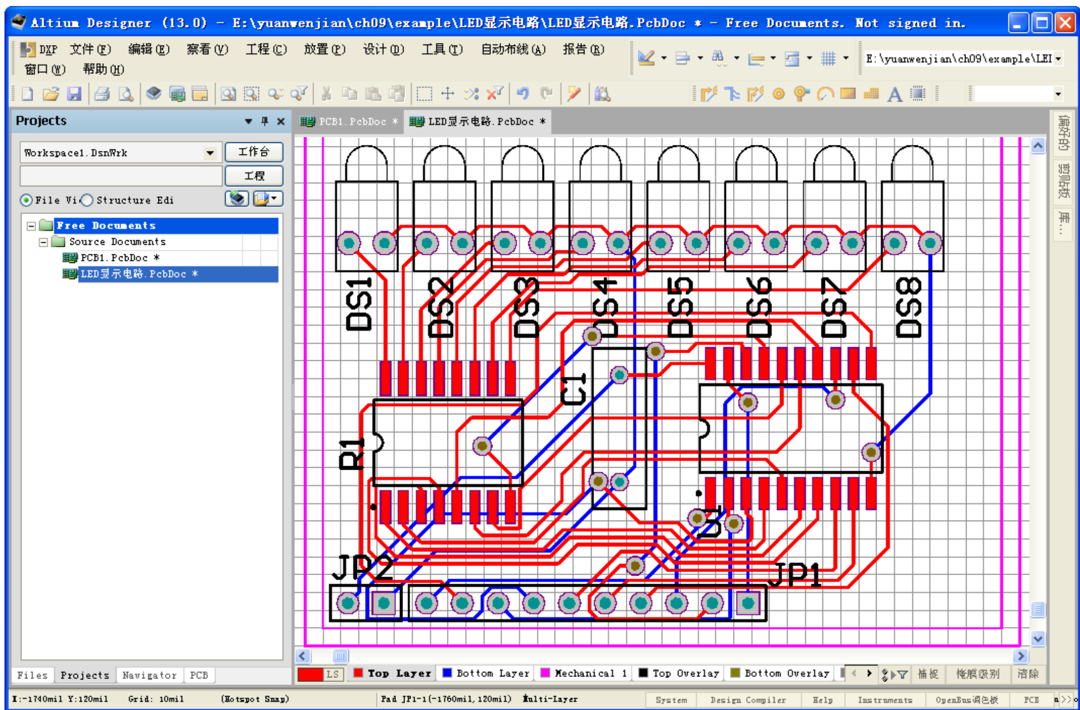



图 9-48 全局布线后的 PCB 图

2．“网络”命令

该命令用于为指定的网络自动布线，其操作步骤如下：

Step1 在规则设置中对该网络布线的线宽进行合理的设置。

Step2 单击菜单栏中的“自动布线”→“网络”命令，此时光标将变成十字形状。移

动光标到该网络上的任何一个电气连接点（飞线或焊盘处），这里选 C1 引脚 1 的焊盘处。单击，此时系统将自动对该网络进行布线。

Step3 此时，光标仍处于布线状态，可以继续对其他的网络进行布线。

Step4 右击或者按 Esc 键即可退出该操作。

3．“网络类”命令

该命令用于为指定的网络类自动布线，其操作步骤如下：

Step1 “网络类”是多个网络的集合，可以在“对象类浏览器”对话框中对其进行编辑管理。单击菜单栏中的“设计”→“类”命令，系统将弹出如图 9-49 所示的“对象类浏览器”对话框。

Step2 系统默认存在的网络类为“所有网络”，不能进行编辑修改。用户可以自行定义新的网络类，将不同的相关网络加入到某一个定义好的网络类中。

Step3 单击菜单栏中的“自动布线”→“网络类”命令后，如果当前文件中没有自定义的网络类，系统会弹出提示框提示未找到网络类，否则系统会弹出“Choose Objects Class（选择对象类）”对话框，列出当前文件中具有的网络类。在列表中选择要布线的网络类，系统即将该网络类内的所有网络自动布线。

Step4 在自动布线过程中，所有布线器的信息和布线状态、结果会在“Messages（信息）”面板中显示出来。

Step5 右击或者按 Esc 键即可退出该操作。

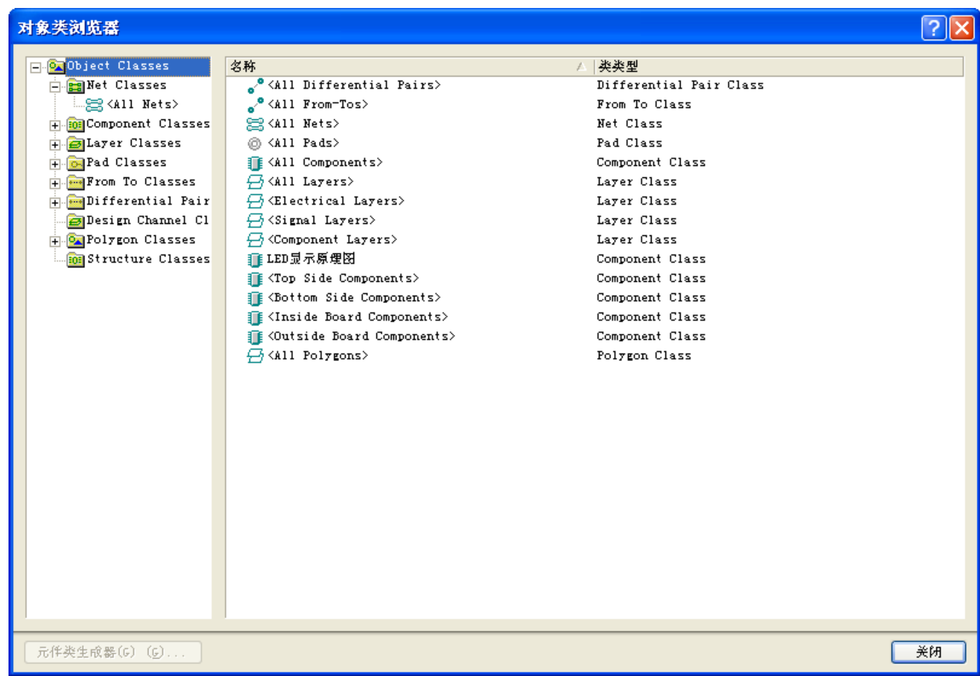



图 9-49 “Objects Class Explorer”对话框

4．“连接”命令

该命令用于为两个存在电气连接的焊盘进行自动布线，其操作步骤如下：

Step1 如果对该段布线有特殊的线宽要求，则应该先在布线规则中对该段线宽进行设置。

Step2 单击菜单栏中的“自动布线”→“连接”命令，此时光标将变成十字形状。移动光标到工作窗口，单击某两点之间的飞线或单击其中的一个焊盘。然后选择两点之间的连接，此时系统将自动在该两点之间布线。

Step3 此时，光标仍处于布线状态，可以继续对其他的连接进行布线。

Step4 右击或者按 Esc 键即可退出该操作。

5.“Area（区域）”命令

该命令用于为完整包含在选定区域内的连接自动布线，其操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“自动布线”→“区域”命令，此时光标将变成十字形状。

Step2 在工作窗口中单击确定矩形布线区域的一个顶点，然后移动光标到合适的位置，再次单击确定该矩形区域的对角顶点。此时，系统将自动对该矩形区域进行布线。

Step3 此时，光标仍处于放置矩形状态，可以继续对其他区域进行布线。

Step4 右击或者按 Esc 键即可退出该操作。

6.“Room（空间）”命令

该命令用于为指定 Room 类型的空间内的连接自动布线。

该命令只适用于完全位于 Room 空间内部的连接，即 Room 边界线以内的连接，不包括压在边界线上的部分。单击该命令后，光标变为十字形状，在 PCB 工作窗口中单击选取 Room 空间即可。

7.“元件”命令

该命令用于为指定元件的所有连接自动布线，其操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“自动布线”→“元件”命令，此时光标将变成十字形状。移动光标到工作窗口，单击某一个元件的焊盘，所有从选定元件的焊盘引出的连接都被自动布线。

Step2 此时，光标仍处于布线状态，可以继续对其他元件进行布线。

Step3 右击或者按 Esc 键即可退出该操作。

8.“器件类”命令

该命令用于为指定元件类内所有元件的连接自动布线，其操作步骤如下：

Step1 “器件类”是多个元件的集合，可以在“对象类浏览器”对话框中对其进行编辑管理。单击菜单栏中的“设计”→“类”命令，系统将弹出该对话框。

Step2 系统默认存在的元件类为 All Components（所有元件），不能进行编辑修改。用户可以使用元件类生成器自行建立元件类。另外，在放置 Room 空间时，包含在其中的元件也自动生成一个元件类。

Step3 单击菜单栏中的“自动布线”→“器件类”命令后，系统将弹出“Select Objects

Class（选择对象类）”对话框。在该对话框中包含当前文件中的元件类别列表。在列表中选择要布线的元件类，系统即将该元件类内所有元件的连接自动布线。

Step4 右击或者按 Esc 键即可退出该操作。

9.“选中对象的连接”命令

该命令用于为所选元件的所有连接自动布线。单击该命令之前，要先选中欲布线的元件。

10.“选择对象之间的连接”命令

该命令用于为所选元件之间的连接自动布线。单击该命令之前，要先选中欲布线元件。

11.“扇出”命令

在 PCB 编辑器中，单击菜单栏中的“自动布线”→“扇出”命令，弹出的子菜单如图 9-50 所示。采用扇出布线方式可将焊盘连接到其他的网络中。其中各命令的功能分别介绍如下：

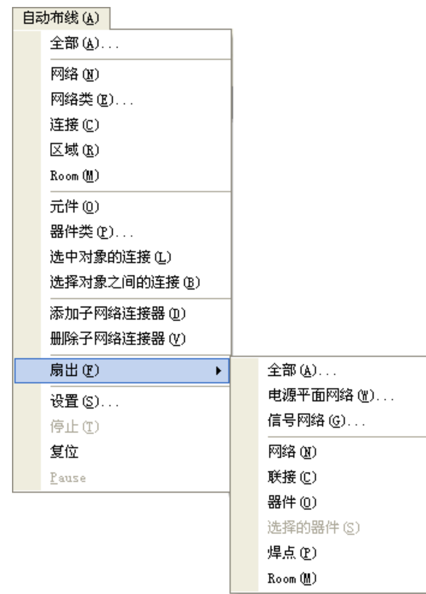



图 9-50 “扇出”命令子菜单

- 全部：用于对当前 PCB 设计内所有连接到中间电源层或信号层网络的表面安装元件执行扇出操作。
- 电源平面网络：用于对当前 PCB 设计内所有连接到电源层网络的表面安装元件执行扇出操作。
- 信号网络：用于对当前 PCB 设计内所有连接到信号层网络的表面安装元件执行扇出操作。
- 网络：用于为指定网络内的所有表面安装元件的焊盘执行扇出操作。单击该命令后，用十字光标点取指定网络内的焊盘，或者在空白处单击，在弹出的“网络选项”对话框中输入网络标号，系统即可自动为选定网络内的所有表面安装元件的焊盘执行扇出操作。
- 联结：用于为指定连接内的两个表面安装元件的焊盘执行扇出操作。单击该命令后，用十字光标点取指定连接内的焊盘或者飞线，系统即可自动为选定连接内的表贴焊盘执行扇出操作。
- 器件：用于为选定的表面安装元件执行扇出操作。单击该命令后，用十字光标点取特定的表贴元件，系统即可自动为选定元件的焊盘执行扇出操作。
- 选择的器件：单击该命令前，先选中要执行扇出操作的元件。单击该命令后，系统自动为选定的元件执行扇出操作。
- 焊点：用于为指定的焊盘执行扇出操作。
- Room（空间）：用于为指定的 Room 类型空间内的所有表面安装元件执行扇出操作。单击该命令后，用十字光标点取指定的 Room 空间，系统即可自动为空间内的所有

表面安装元件执行扇出操作。

## 9.2　电路板的手动布线

自动布线会出现一些不合理的布线情况，如有较多的绕线、走线不美观等。此时可以通过手动布线进行修正，对于元件网络较少的 PCB 板也可以完全采用手动布线。下面简单介绍手动布线的一些技巧。

对于手动布线，要靠用户自己规划元件布局和走线路径，而网格是用户在空间和尺寸度量过程中的重要依据。因此，合理地设置网格，会更加方便设计者规划布局和放置导线。用户在设计的不同阶段可根据需要随时调整网格的大小。例如，在元件布局阶段，可将捕捉网格设置得大一点，如 20mil；而在布线阶段捕捉网格要设置得小一点，如 5mil 甚至更小，尤其是在走线密集的区域，视图网格和捕捉网格都应该设置得小一些，以方便观察和走线。

手动布线的规则设置与自动布线前的规则设置基本相同，用户参考前面章节的介绍即可，这里不再赘述。

### 9.2.1　拆除布线

在工作窗口中选中导线后，按 Delete 键即可删除导线，完成拆除布线的操作。但是这样的操作只能逐段地拆除布线，工作量比较大。可能通过“工具”菜单下“取消布线”子菜单中的命令来快速地拆除布线，如图 9-51 所示，其中各命令的功能和用法分别介绍如下：

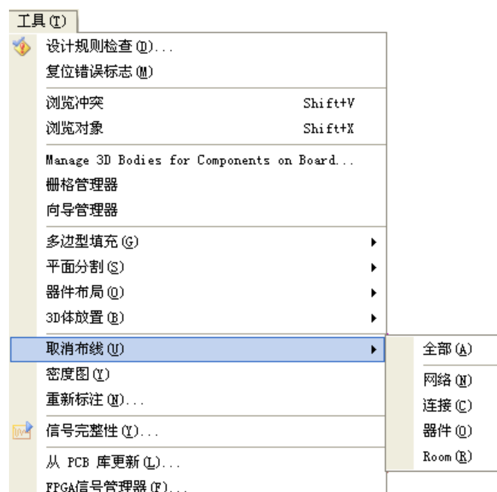


图 9-51　“取消布线”子菜单

（1）“全部”命令：用于拆除 PCB 板上的所有导线。

单击菜单栏中的“工具”→“取消布线”→“全部”命令，即可拆除 PCB 板上的所有导线。

（2）“网络”命令：用于拆除某一个网络上的所有导线。

单击菜单栏中的“工具”→“取消布线”→“网络”命令，此时光标将变成十字形状。移动光标到某根导线上，单击，该导线所属网络的所有导线将被删除，这样就完成了对某个网络的拆线操作。此时，光标仍处于拆除布线状态，可以继续拆除其他网络上的布线。右击或者按 Esc 键即可退出该操作。

（3）“连接”命令：用于拆除某个连接上的导线。

单击菜单栏中的“工具”→“取消布线”→“连接”命令，此时光标将变成十字形状。

移动光标到某根导线上，单击，该导线建立的连接将被删除，这样就完成了对该连接的拆除布线操作。此时，光标仍处于拆除布线状态，可以继续拆除其他连接上的布线。右击或者按 Esc 键即可退出该操作。

（4）“器件”命令：用于拆除某个元件上的导线。

单击菜单栏中的“工具”→“取消布线”→“ 器件”命令，此时光标将变成十字形状。移动光标到某个元件上，单击，该元件所有引脚所在网络的所有导线将被删除，这样就完成了对该元件的拆除布线操作。此时，光标仍处于拆除布线状态，可以继续拆除其他元件上的布线。右击或者按 Esc 键即可退出该操作。

（5）“Room（空间）”命令：用于拆除某个 Room 区域内的导线。

### 9.2.2　手动布线

#### 1. 手动布线的步骤

手动布线也将遵循自动布线时设置的规则，其操作步骤如下：

Step1　单击菜单栏中的“放置”→“交互式布线”命令，此时光标将变成十字形状。

Step2　移动光标到元件的一个焊盘上，单击放置布线的起点。

手动布线模式主要有任意角度、90° 拐角、90° 弧形拐角、45° 拐角和 45° 弧形拐角 5 种。按 Shift+Space 键即可在 5 种模式间切换，按 Space 键可以在每一种的开始和结束两种模式间切换。

Step3　多次单击确定多个不同的控点，完成两个焊盘之间的布线。

#### 2. 手动布线中层的切换

在进行交互式布线时，按*键可以在不同的信号层之间切换，这样可以完成不同层之间的走线。在不同的层间进行走线时，系统将自动为其添加一个过孔。

不同层间的走线颜色是不相同的，可以在“视图配置”对话框中进行设置。

## 9.3　添加安装孔

电路板布线完成之后，就可以开始着手添加安装孔。安装孔通常采用过孔形式，并和接地网络连接，以便于后期的调试工作。

添加安装孔的操作步骤如下：

Step1　单击菜单栏中的“放置”→“过孔”命令，或者单击“连线”工具栏中的（放置过孔）按钮，或用快捷键 P+V，此时光标将变成十字形状，并带有一个过孔图形。

Step2　按 Tab 键，系统将弹出如图 9-52 所示的“过孔”对话框。

- “孔尺寸”选项：这里将过孔作为安装孔使用，因此过孔内径比较大，设置为 100mil。
- “直径”选项：这里的过孔外径设置为 150mil。
- “位置”选项：这里的过孔作为安装孔使用，过孔的位置将根据需要确定。通常，

安装孔放置在电路板的 4 个角上。

- “设置”选项：包括设置过孔起始层、网络标号、测试点等。

Step3 设置完毕单击“确定”按钮，即可放置了一个过孔。

Step4 此时，光标仍处于放置过孔状态，可以继续放置其他的过孔。

Step5 右击或者按 Esc 键即可退出该操作。

如图 9-53 所示为放置完安装孔的电路板。




图 9-52 “过孔”对话框

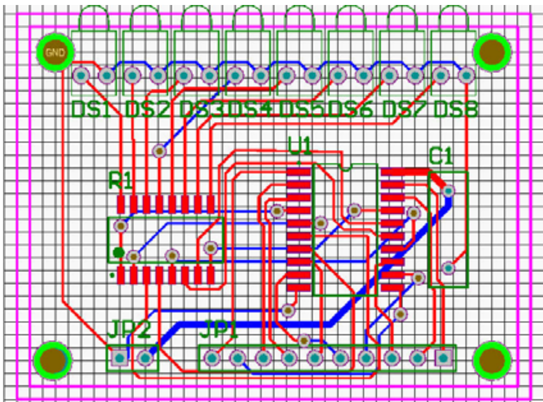



图 9-53 放置完安装孔的电路板

# 9.4 覆铜和补泪滴

覆铜由一系列的导线组成，可以完成电路板内不规则区域的填充。在绘制 PCB 图时，覆铜主要是指把空余没有走线的部分用导线全部铺满。用铜箔铺满部分区域和电路的一个网络相连，多数情况是和 GND 网络相连。单面电路板覆铜可以提高电路的抗干扰能力，经过覆铜处理后制作的印制板会显得十分美观，同时，通过大电流的导电通路也可以采用覆铜的方法来加大过电流的能力。通常覆铜的安全间距应该在一般导线安全间距的两倍以上。

## 9.4.1 执行覆铜命令

单击菜单栏中的“放置”→“多边形覆铜”命令，或者单击“连线”工具栏中的（放置多边形平面）按钮，或用快捷键 P+G，即可执行放置覆铜命令。系统弹出的“多边形覆铜”对话框如图 9-54 所示。

## 9.4.2 设置覆铜属性

执行覆铜命令之后，或者双击已放置的覆铜，系统将弹出“多边形覆铜”对话框。其中各选项组的功能分别介绍如下：




图 9-54 “多边形覆铜”对话框

1．“填充模式”选项组

该选项组用于选择覆铜的填充模式，包括3个单选钮，Solid(Copper Regions)，即覆铜区域内为全铜敷设；Hatched（tracks/Arcs），即向覆铜区域内填入网络状的覆铜；None（Outlines Only），即只保留覆铜边界，内部无填充。

在对话框的中间区域内可以设置覆铜的具体参数，针对不同的填充模式，有不同的设置参数选项。

- “Solid（Copper Regions）”（实体）单选钮：用于设置删除孤立区域覆铜的面积限制值，以及删除凹槽的宽度限制值。需要注意的是，当用该方式覆铜后，在Protel99SE软件中不能显示，但可以用Hatched（tracks/Arcs）（网络状）方式覆铜。
- “Hatched（tracks/Arcs）”（网络状）单选钮：用于设置网格线的宽度、网络的大小、围绕焊盘的形状及网格的类型。
- “None（Outlines Only）”（无）单选钮：用于设置覆铜边界导线宽度及围绕焊盘的形状等。

2．“属性”选项组

- “层”下拉列表框：用于设定覆铜所属的工作层。
- “最小整洁长度”文本框：用于设置最小图元的长度。
- “锁定原始的”复选框：用于选择是否锁定覆铜。

3．“网络选项”选项组

- “链接到网络”下拉列表框：用于选择覆铜连接到的网络。通常连接到GND网络。
- “Don’t Pour Over Same Net Objects（填充不超过相同的网络对象）”选项：用于设置覆铜的内部填充不与同网络的图元及覆铜边界相连。
- “Pour Over Same Net Polygons Only（填充只超过相同的网络多边形）”选项：用于设置覆铜的内部填充只与覆铜边界线及同网络的焊盘相连。

- “Pour Over All Same Net Objects（填充超过所有相同的网络对象）”选项：用于设置覆铜的内部填充与覆铜边界线，并与同网络的任何图元相连，如焊盘、过孔、导线等。
- “Remove Dead Copper（删除孤立的覆铜）”复选框：用于设置是否删除孤立区域的覆铜。孤立区域的覆铜是指没有连接到指定网络元件上的封闭区域内的覆铜，若勾选该复选框，则可以将这些区域的覆铜去除。

## 9.4.3 放置覆铜

下面以“PCB1.PcbDoc”为例简单介绍放置覆铜的操作步骤。

Step1 单击菜单栏中的“放置”→“多边形覆铜”命令，或者单击“连线”工具栏中的（放置多边形平面）按钮，或用快捷键 P+G，即可执行放置覆铜命令。系统将弹出“多边形覆铜”对话框。

Step2 在“多边形覆铜”对话框中进行设置，点选“Hatched（tracks/Arcs）(网络状)”单选钮，填充模式设置为 45°，连接到网络 GND，层面设置为 Top Layer（顶层），勾选“死铜移除”复选框，如图 9-55 所示。

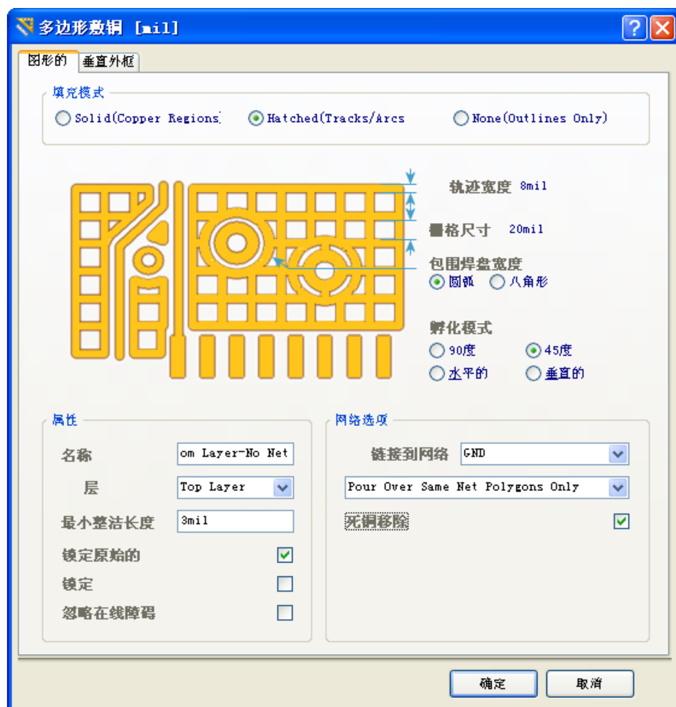



图 9-55 “多边形覆铜”对话框

Step3 单击“确定”按钮，关闭该对话框。此时光标变成十字形状，准备开始覆铜操作。

Step4 用光标沿着 PCB 的“Keep-Out（禁止布线层）”边界线画一个闭合的矩形框。单击确定起点，移动至拐点处单击，直至确定矩形框的 4 个顶点，右击退出。用户不必手动将矩形框线闭合，系统会自动将起点和终点连接起来构成闭合框线。

Step5 系统在框线内部自动生成了 Top Layer（顶层）的覆铜。

Step6 再次执行覆铜命令，选择层面为 Bottom Layer（底层），其他设置相同，为底层覆铜。

PCB 覆铜效果如图 9-56 所示。

### 9.4.4 补泪滴

在导线和焊盘或者过孔的连接处，通常需要补泪滴，以去除连接处的直角，加大连接面。这样做有两个好处，一是在 PCB 的制作过程中，避免因钻孔定位偏差导致焊盘与导线断裂；二是在安装和使用中，可以避免因用力集中导致连接处断裂。

单击菜单栏中的“工具”→“滴泪”命令，或用快捷键 T+E，即可执行补泪滴命令。系统弹出的“泪滴选项”对话框如图 9-57 所示。

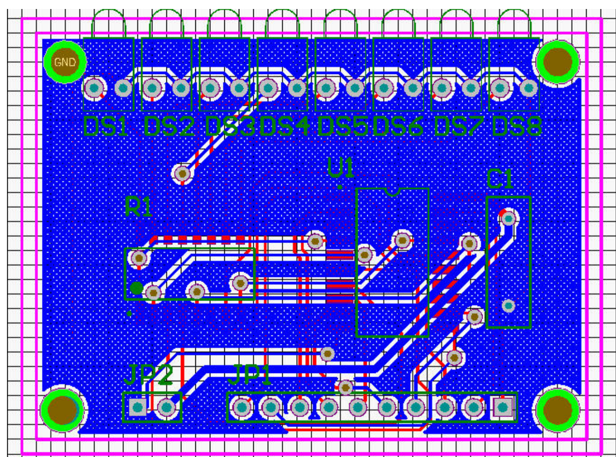



图 9-56　PCB 覆铜效果

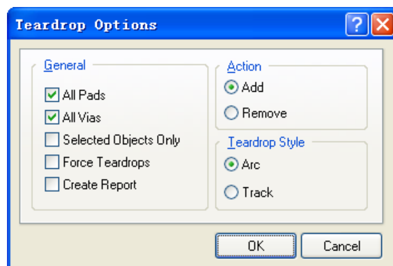



图 9-57　“泪滴选项”对话框

（1）“通用”选项组

- “焊盘”复选框：勾选该复选框，将对所有的焊盘添加泪滴。
- “过孔”复选框：勾选该复选框，将对所有的过孔添加泪滴。
- “仅选择对象”复选框：勾选该复选框，将对选中的对象添加泪滴。
- “强迫泪滴”复选框：勾选该复选框，将强制对所有焊盘或过孔添加泪滴，这样可能导致在 DRC 检测时出现错误信息。取消对此复选框的勾选，则对安全间距太小的焊盘不添加泪滴。
- “创建报告”复选框：勾选该复选框，进行添加泪滴的操作后将自动生成一个有关添加泪滴操作的报表文件，同时该报表也将在工作窗口显示出来。

（2）“行为”选项组

- “添加”单选钮：用于添加泪滴。
- “删除”单选钮：用于删除泪滴。

（3）“泪滴类型”选项组。

- “Arc（弧形）”单选钮：用弧线添加泪滴。
- “导线”单选钮：用线导添加泪滴。

设置完毕单击“确定”按钮，完成对象的泪滴添加操作。

补泪滴前后焊盘与导线连接的变化如图 9-58 所示。

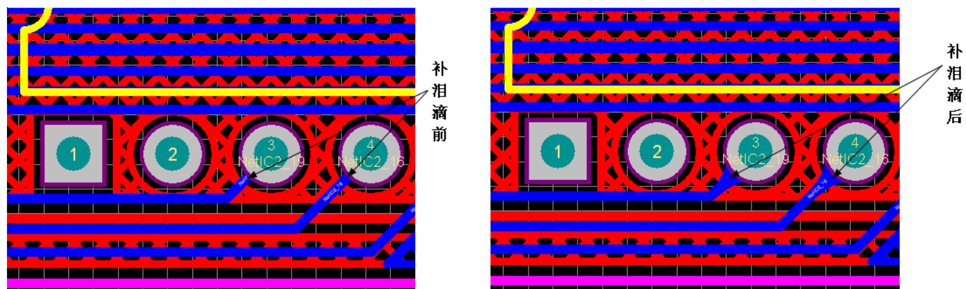



图 9-58　补泪滴前后焊盘与导线连接的变化

按照此种方法，用户还可以对某一个元件的所有焊盘和过孔，或者某一个特定网络的焊盘和过孔进行补泪滴操作。

## 9.5　操作实例——LED 显示电路印制电路板的布线

本节在 LED 显示电路印制电路板布局的基础上进行布线和覆铜操作的练习。具体的操作步骤如下：

Step1 打开“yuanwenjian\ch_09\9.5”文件夹下“LED 显示电路.PrjPcb”。

Step2 在 PCB 编辑器中，单击菜单栏中的“设计”→“规则”命令，弹出电路板设计规则设置对话框，在该对话框中设置自动布线规则。

Step3 设置安全间距限制规则。在本例中，将安全间距设置为 15mil，如图 9-59 所示。

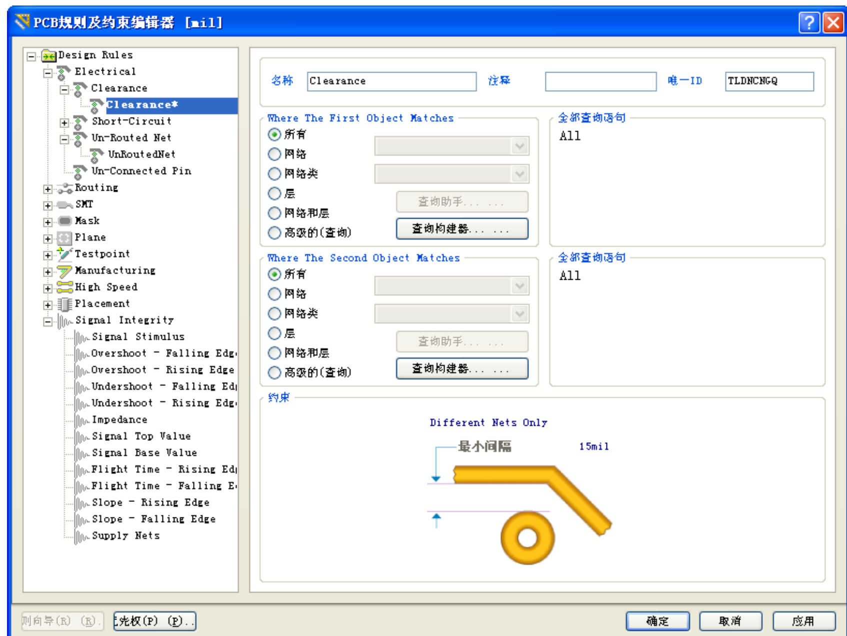



图 9-59　设置安全间距

Step4 采用系统默认的短路限制规则与未布线网络限制规则，设置导线宽度设计规则及布线优先级。将电源网络导线宽度设置为25mil，优先级为1；其余的导线宽度设置为10mil，优先级为 2 分别如图 9-60 和图 9-61 所示，设置的导线宽度设计规则优先级如图 9-62 所示。

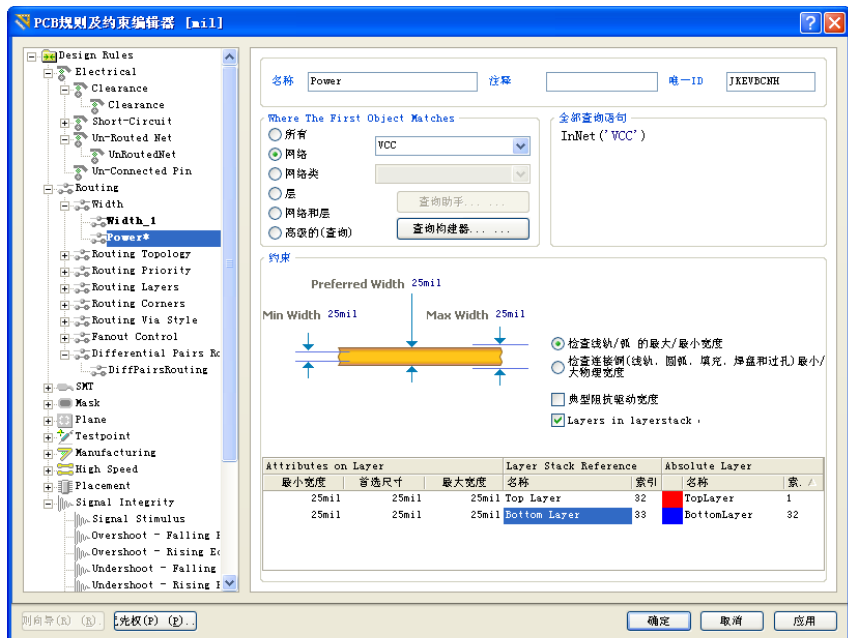


图 9-60 设置电源网络导线宽度规则

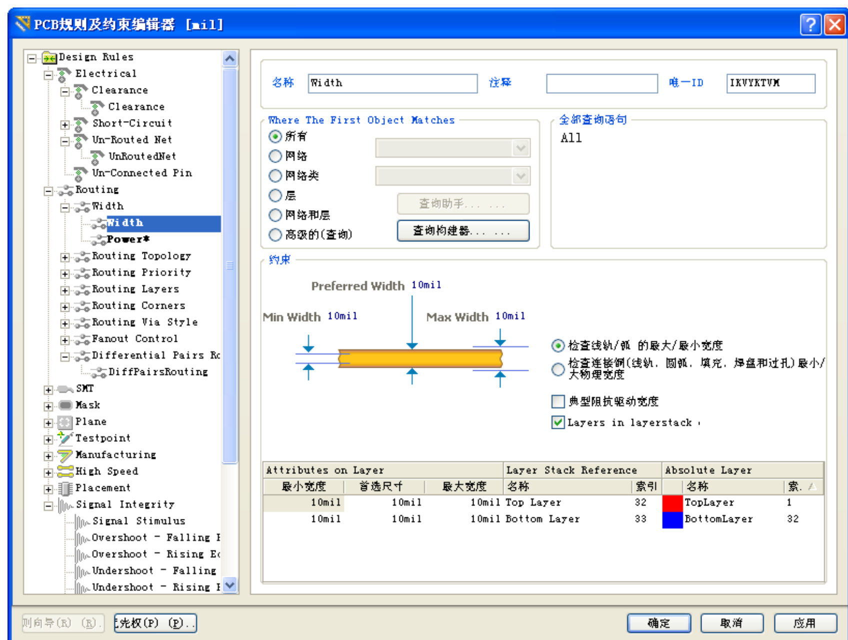


图 9-61 设置其余导线宽度规则

Step5 单击菜单栏中的“自动布线”→“全部”命令，系统弹出“Situs 布线策略（布

线位置策略）”对话框。在下面的策略列表框中选择“Default 2 Layer With Edge Connectors（默认具有边缘连接的双面板）”布线策略，以适应本例电路板中有插件的需要。

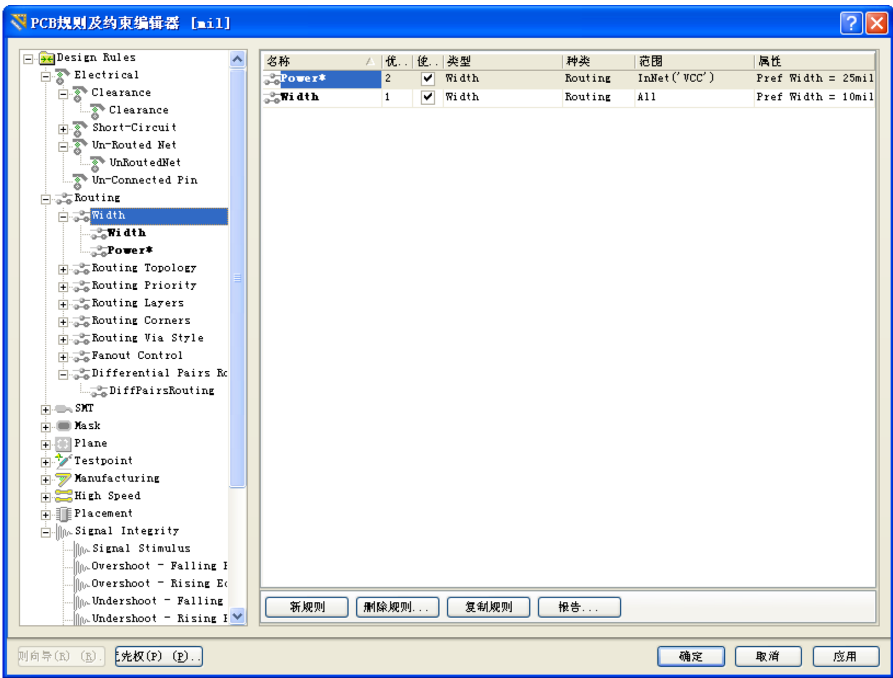



图 9-62　设置导线宽度设计规则优先级

Step6 单击“Route All（布线所有）”按钮，执行自动布线命令，系统将对电路板的网络进行布线，结果如图 9-63 所示。

Step7 调整自动布线的结果。调整自动布线主要是指调整那些绕远、不简洁及转直角的导线。由于地线网络在最后阶段要进行覆铜，所以在调整自动布线结果时不需要调整地线。这里不做调整，用户可以自己根据需要调整布线结果。

Step8 单击菜单栏中的“工具”→“取消布线”→“网络”命令，此时光标变为十字形状。将光标移至任意一段地线网络的导线上，单击即可删除所有地线，如图 9-64 所示。

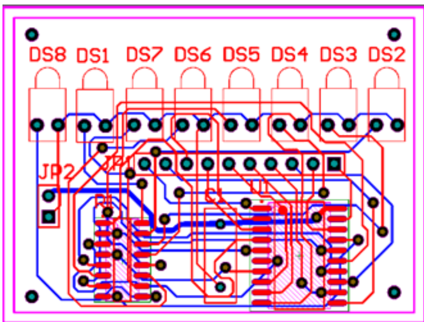



图 9-63　自动布线结果

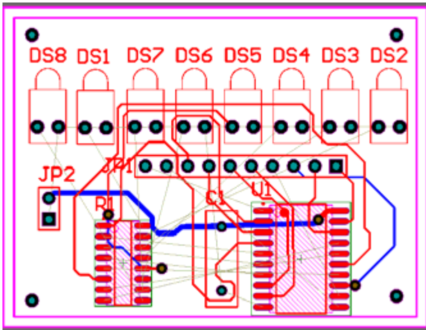



图 9-64　删除地线网络后的布线

Step9 设置覆铜连接方式。单击菜单栏中“设计”→“规则”命令，弹出“PCB 规则及约束编辑器”对话框。单击“Plane（中间层布线规则）”→“Polygon Connect Style（焊盘与多边形覆铜区域连接类型规则）”标签页，设置覆铜与具有相同网络标号图件连接方式为“Direct Connect（直接连接）”，如图 9-65 所示。

Step10 设置覆铜与图元之间的安全间距。在“PCB 规则及约束编辑器”对话框中，单击“Plane（中间层布线规则）”→“Power Plane Clearance（清除平面）”→“PlaneClearance（平面清楚）”标签页，将安全间距设置为 1mm，如图 9-66 所示。

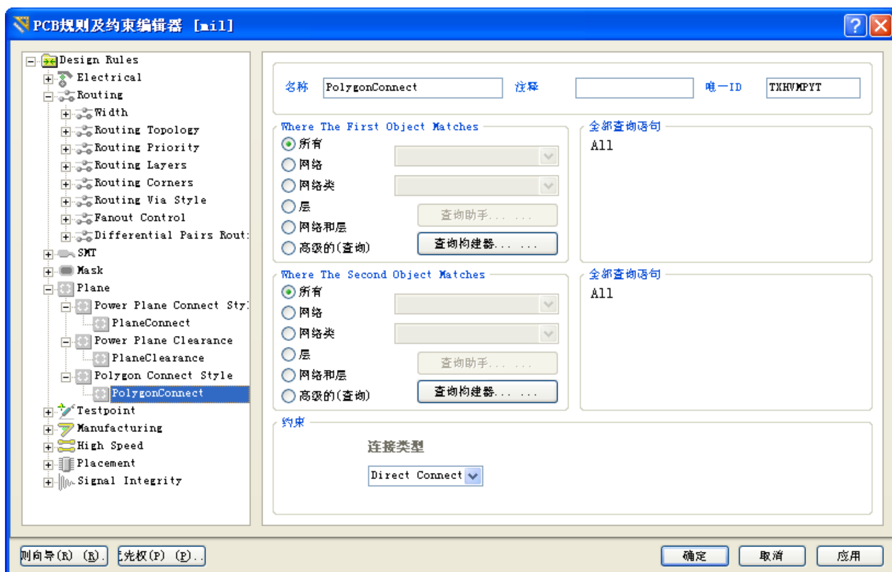


图 9-65 设置覆铜连接方式

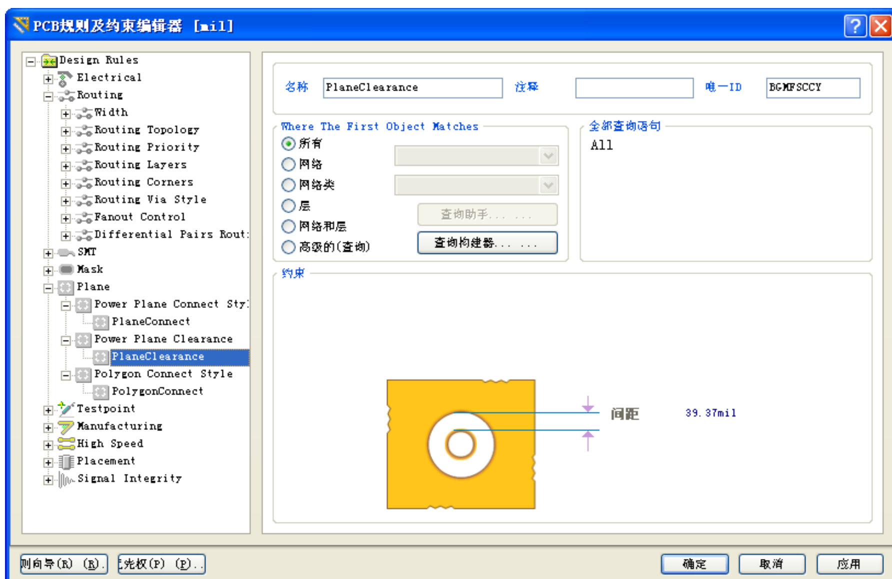


图 9-66 设置覆铜与图元之间的安全间距

Step11 覆铜操作。单击菜单栏中的“放置”→“多边形覆铜”命令，系统弹出“多边形覆铜”对话框。在该对话框中，将多边形填充的网络标号设置成“GND”，其余各项参数设置如图 9-67 所示。

Step12 设置完毕单击“确定”按钮，进入绘制覆铜区域的命令状态。移动光标至电路板边缘，沿着电路板的边界绘制一个封闭区域，系统将在该封闭区域内根据有关的设计规则为地线网络覆上铜箔。覆铜结果如图 9-68 所示。

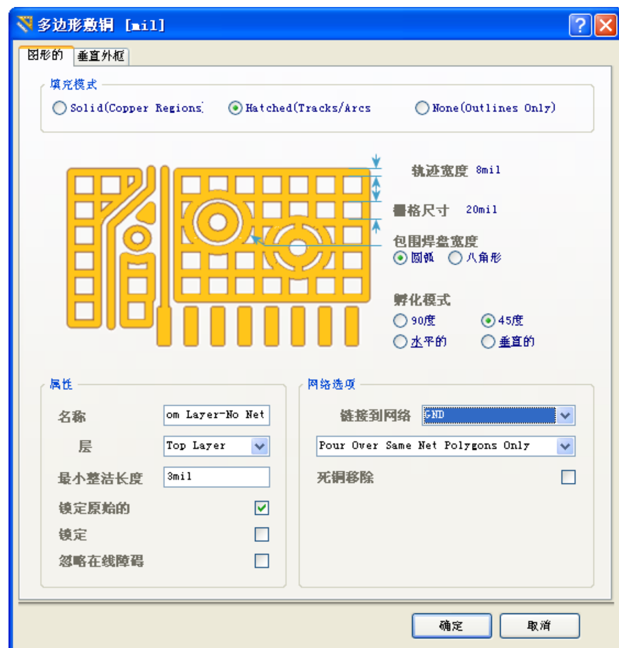



图 9-67 设置覆铜参数

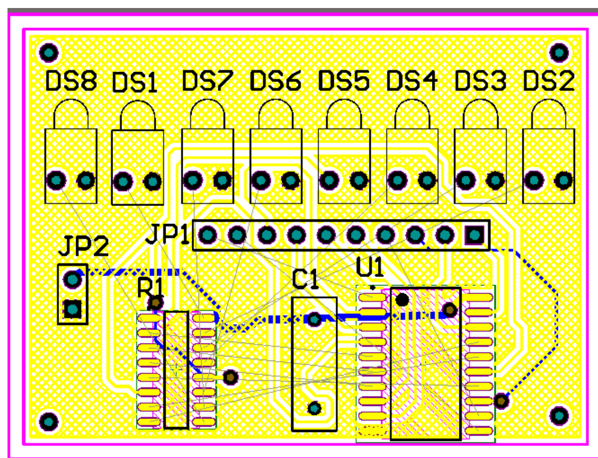



图 9-68 覆铜结果

# 第 10 章

# 电路板的后期制作

在 PCB 设计的最后阶段，我们要通过设计规则检查来进一步确认 PCB 设计的正确性。完成了 PCB 项目的设计后，就可以进行各种文件的整理和汇总了。本章将介绍不同类型文件生成和输出的操作方法，包括报表文件、PCB 文件和 PCB 制造文件等。读者通过对本章内容的学习，将对 Altium Designer 13 形成更加系统的认识。

知识点

- 电路板的测量
- DRC 检查
- 电路板的报表输出
- PCB 文件输出

# 10.1 电路板的测量

Altium Designer 13 提供了电路板的测量工具，方便设计电路时的检查。测量功能在“报告”菜单中，如图 10-1 所示。下面以测量电路板上两点间距离为例进行介绍。

Step1 单击菜单栏中的“报告”→“测量间距”命令，或用快捷键 Ctrl+M，此时光标变成十字形状显示在工作窗口中。

Step2 移动光标到某个坐标点上，单击确定测量起点。如果光标移动到了某个对象上，则系统将自动捕捉该对象的中心点。

Step3 此时光标仍为十字形状，重复步骤 Step2 确定测量终点。此时系统弹出如图 10-2 所示的“Information（信息）”对话框。在该对话框中给出了测量的结果。测量结果包含总距离、X 方向上的距离和 Y 方向上的距离 3 项。




图 10-1 “报告”菜单

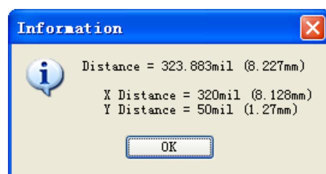



图 10-2 “Information”对话框

Step4 此时光标仍为十字状态，重复步骤 Step2、步骤 Step3 可以继续其他测量。

Step5 完成测量后，右击或按 Esc 键即可退出该操作。

# 10.2 设计规则检查

电路板布线完毕，在输出设计文件之前，还要进行一次完整的设计规则检查(Design Rule Check，DRC)。设计规则检查是采用 Altium Designer 13 进行 PCB 设计时的重要检查工具。系统会根据用户设计规则的设置，对 PCB 设计的各个方面进行检查校验，如导线宽度、安全距离、元件间距、过孔类型等。DRC 是 PCB 板设计正确性和完整性的重要保证。灵活运用 DRC，可以保障 PCB 设计的顺利进行和最终生成正确的输出文件。

单击菜单栏中的“工具”→“设计规则检查”命令，系统将弹出如图 10-3 所示的“设计规则检查”对话框。该对话框的左侧是该检查器的内容列表，右侧是其对应的具体内容。对话框由两部分内容构成，即 DRC 报告选项和 DRC 规则列表。

1. DRC 报表选项

在“设计规则检查”对话框左侧的列表中单击“Report Options（报表选项）”标签页，

即显示 DRC 报表选项的具体内容。这里的选项主要用于对 DRC 报表的内容和方式进行设置，通常保持默认设置即可，其中各选项的功能介绍如下：

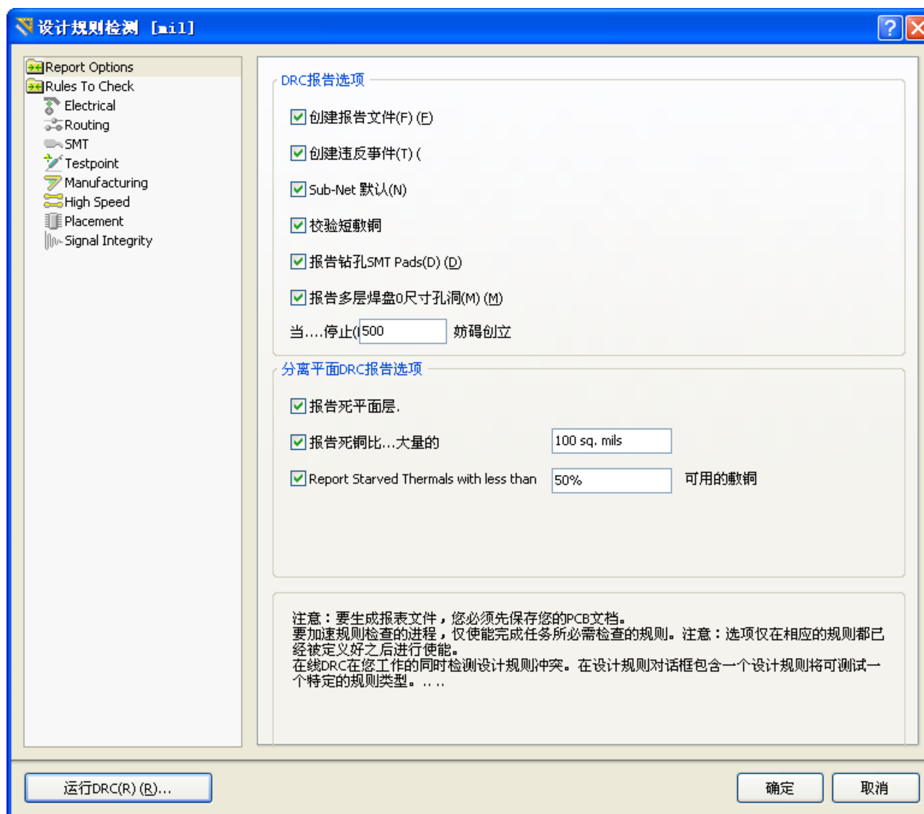



图 10-3 “设计规则检查”对话框

- “创建报告文件”复选框：运行批处理 DRC 后会自动生成报表文件（设计名.DRC），包含本次 DRC 运行中使用的规则、违例数量和细节描述。
- “创建违反事件”复选框：能在违例对象和违例消息之间直接建立链接，使用户可以直接通过“Message（信息）”面板中的违例消息进行错误定位，找到违例对象。
- “Sub-Net 默认（子网络详细描述）”复选框：对网络连接关系进行检查并生成报告。
- “校验短覆铜”复选框：对覆铜或非网络连接造成的短路进行检查。

2．DRC 规则列表

在“设计规则检查”对话框左侧的列表中单击“Rules To Check（检查规则）”标签页，即可显示所有可进行检查的设计规则，其中包括了 PCB 制作中常见的规则，也包括了高速电路板设计规则，如图 10-4 所示。例如，线宽设定、引线间距、过孔大小、网络拓扑结构、元件安全距离、高速电路设计的引线长度、等距引线等，可以根据规则的名称进行具体设置。在规则栏中，通过“在线”和“批量”两个选项，用户可以选择在线 DRC 或批处理 DRC。

单击“运行 DRC”按钮，即运行批处理 DRC。

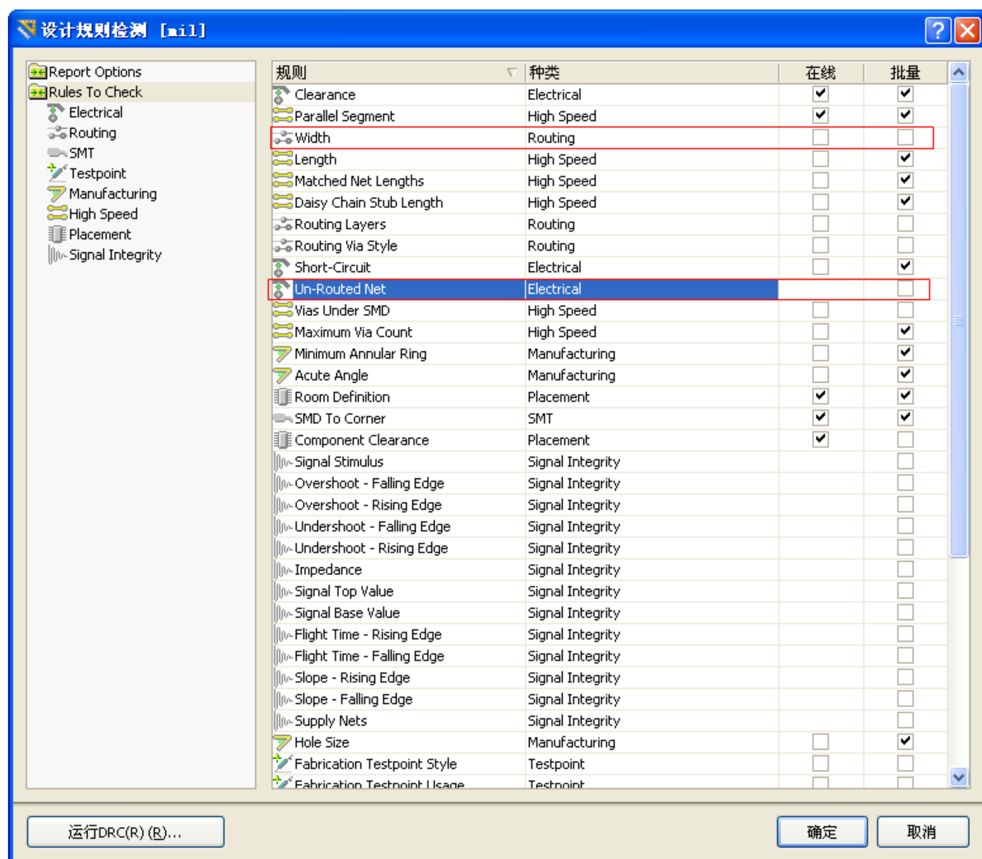



图 10-4　“Rules To Check”标签页

## 10.2.1　在线 DRC 和批处理 DRC

在线 DRC 在后台运行，在设计过程中，系统随时进行规则检查，对违反规则的对象提出警示或自动限制违例操作的执行。选择“参数选择”对话框的“PCB Editor（PCE 编辑器）”→“General（常规）”标签页中可以设置是否选择在线 DRC，如图 10-5 所示。

通过批处理 DRC，用户可以在设计过程中的任何时候手动一次运行多项规则检查。在如图 10-4 所示的列表中可以看到，不同的规则适用于不同的 DRC。有的规则只适用于在线 DRC，有的只适用于批处理 DRC，但大部分的规则都可以在两种检查方式下运行。

需要注意是，在不同阶段运行批处理 DRC，对其规则选项要进行不同的选择。例如，在未布线阶段，如果要运行批处理 DRC，就要将部分布线规则禁止，否则会导致过多的错误提示而使 DRC 失去意义。在 PCB 设计结束时，也要运行一次批处理 DRC，这时就要选中所有 PCB 相关的设计规则，使规则检查尽量全面。

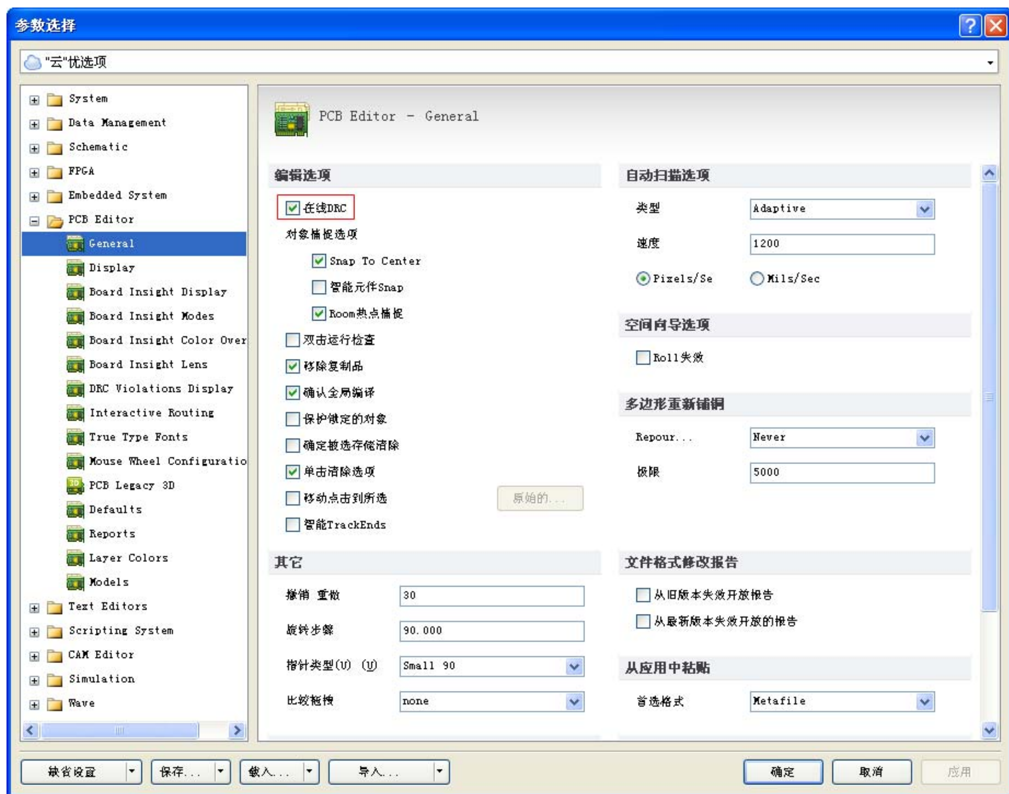



图 10-5 “PCB Editor-General”（PCB 编辑器-常规）标签页

## 10.2.2 对未布线的 PCB 文件执行批处理 DRC

要求在 PCB 文件“单片机 PCB 图.PcbDoc”未布线的情况下，运行批处理 DRC。此时要适当配置 DRC 选项，以得到有参考价值的错误列表。具体的操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“工具”→“设计规则检查”命令。

Step2 系统弹出“设计规则检查”对话框，暂不进行规则启用和禁止的设置，直接使用系统的默认设置。单击“设计规则检测”按钮，运行批处理 DRC。

Step3 系统执行批处理 DRC，运行结果在“Messages（信息）”面板中显示出来，如图 10-6 所示。系统生成了 70 余项 DRC 警告，其中大部分是未布线警告，这是因为我们未在 DRC 运行之前禁止该规则的检查。这种 DRC 警告信息对我们并没有帮助，反而使“Messages（信息）”面板变得杂乱。

Step4 单击菜单栏中的“工具”→“设计规则检测”命令，重新配置 DRC 规则。在“设计规则检查”对话框中，单击左侧列表中的“Rules To Check（检查规则）”选项。

Step5 在如图 10-4 所示的规则列表中，禁止其中部分规则的“批量”选项。禁止项包括 Un-Routed Net（未布线网络）和 Width（宽度）。

Step6 单击“设计规则检测”按钮，运行批处理 DRC。

Step7 系统再次执行批处理 DRC，运行结果在“Messages（信息）”面板中显示出来，

如图 10-7 所示。可见重新配置检查规则后，批处理 DRC 检查得到了 0 项 DRC 违例信息。检查原理图确定这些引脚连接的正确性。

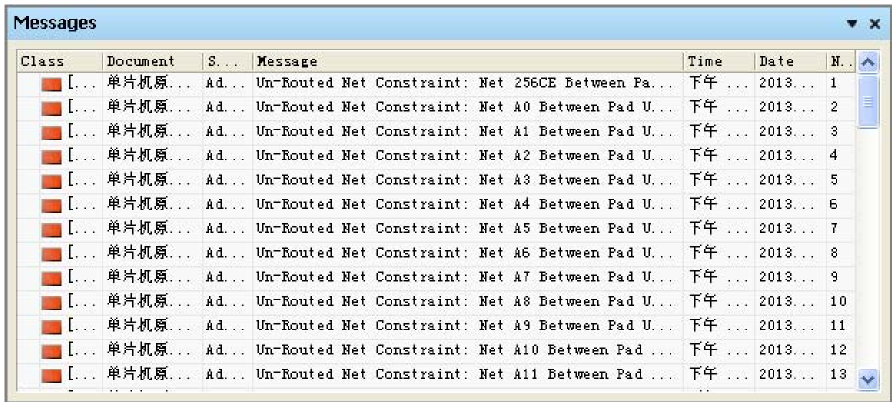



图 10-6 “Messages”面板 1

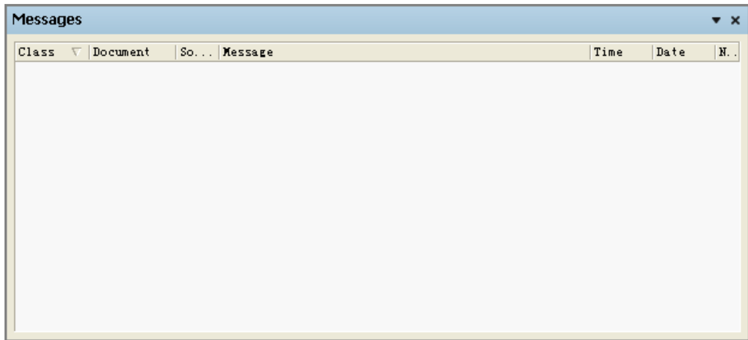



图 10-7 “Messages”面板 2

## 10.2.3 对已布线完毕的 PCB 文件执行批处理 DRC

对布线完毕的 PCB 文件“单片机 PCB 图.PcbDoc”再次运行 DRC。尽量检查所有涉及到的设计规则。具体的操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“工具”→“设计规则检查”命令。

Step2 系统弹出“设计规则检查”对话框，单击左侧列表中的“Rules To Check（检查规则）”选项，配置检查规则。

Step3 在如图 10-4 所示的规则列表中，将部分“批量”选项中被禁止的规则选中，允许其进行该规则检查。选择项必须包括 Clearance（安全间距）、Width（宽度）、Short-Circuit（短路）、Un-Routed Net（未布线网络）、Component Clearance（元件安全间距）等，其他选项采用系统默认设置即可。

Step4 单击“运行 DRC”按钮，运行批处理 DRC。

Step5 系统执行批处理 DRC，运行结果在“Messages（信息）”面板中显示出来。对于批处理 DRC 中检查到的违例信息项，可以通过错误定位进行修改，这里不再赘述。

# 10.3　输出电路板相关报表

PCB 绘制完毕，可以利用 Altium Designer 13 提供的强大报表生成功能，生成一系列报表文件。这些报表文件具有不同的功能和用途，为 PCB 设计的后期制作、元件采购、文件交流等提供了方便。在生成各种报表之前，首先要确保要生成报表的文件已经打开并被激活为当前文件。

## 10.3.1　PCB 图的网络表文件

前面介绍的 PCB 设计，采用的是从原理图生成网络表的方式，这也是通用的 PCB 设计方法。但是有些时候，设计者直接调入元件封装绘制 PCB 图，没有采用网络表，或者在 PCB 图绘制过程中，连接关系有所调整，这时 PCB 的真正网络逻辑和原理图的网络表会有所差异。此时就需要从 PCB 图中生成一份网络表文件。

下面以从 PCB 文件“LED 显示电路.PcbDoc”生成网络表为例，详细介绍 PCB 图网络表文件生成的操作步骤。

Step1　在 PCB 编辑器中，单击菜单栏中的“设计”→“网络表”→“从 PCB 输出网络表”命令，系统弹出 “Confirm”（确认）对话框。

Step2　单击“Yes（是）”按钮，系统生成 PCB 网络表文件“Exported LED 显示电路 PCB 图.Net”，并自动打开。

Step3　该网络表文件作为自由文档加入到“Projects（工程）”面板中，如图 10-8 所示。

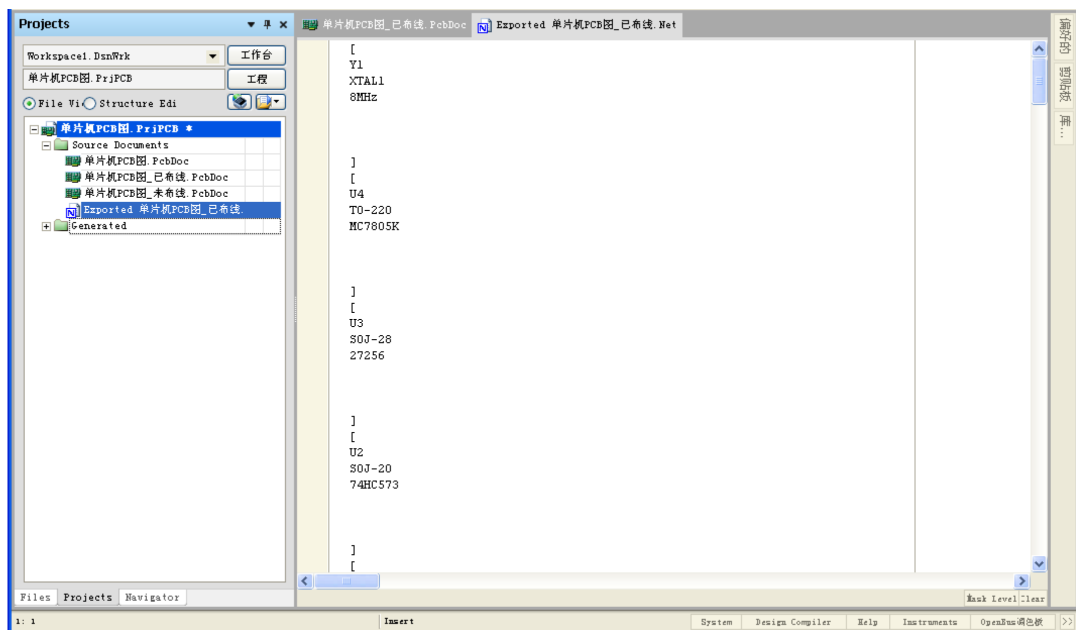



图 10-8　“Projects”面板

另外，还可以根据 PCB 图中的物理连接关系建立网络表。在 PCB 编辑器中，单击菜单栏中的“设计”→“网络表”→“Export Netlist From Connected Copper（根据导线连接关系输出网络表）”命令，系统将生成名为“Generated byXXX.Net”的网络表文件。

网络表可以根据用户需要进行修改，修改后的网络表可再次载入，以验证 PCB 板的正确性。

## 10.3.2 PCB 的信息报表

PCB 信息报表是对 PCB 板的元件网络和完整细节信息进行汇总的报表。单击菜单栏中的“报告”→“板子信息”命令，系统将弹出“PCB 信息”对话框。在该对话框中包含 3 个选项卡：




图 10-9 “通用”选项卡

（1）“通用”选项卡：该选项卡汇总了 PCB 上的各类图元，如导线、过孔、焊盘等的数量，报告了电路板的尺寸信息和 DRC 违例数量，如图 10-9 所示。

（2）“器件”选项卡：该选项卡报告了 PCB 上元件的统计信息，包括元件总数、各层放置数目和元件标号列表，如图 10-10 所示。

（3）“网络”选项卡：该选项卡中列出了电路板的网络统计，包括导入网络总数和网络名称列表，如图 10-11 所示。单击“Pwr/Gnd（电源/接地）按钮，弹出如图 10-12 所示的“内部平面信息”对话框。对于双面板，该信息框是空白的。




图 10-10 “器件”选项卡




图 10-11 “网络”选项卡

在各个选项卡中单击“报告”按钮，将弹出如图 10-13 所示的“板报告”对话框，通过该对话框可以生成 PCB 信息的报表文件，在该对话框的列表框中选择要包含在报表文件中的内容。勾选“仅选择对象”复选框时，单击“所有的打开”按钮，选择所有板信息。

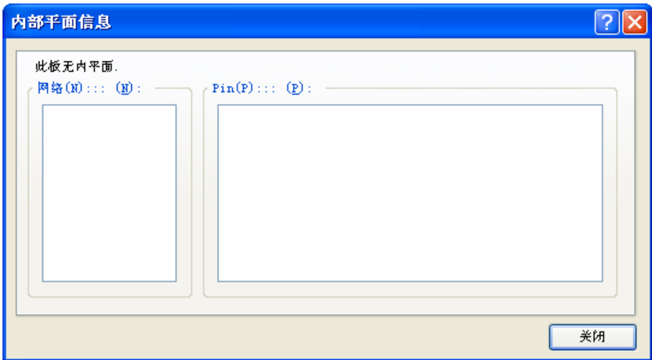



图 10-12 “内部平面信息”对话框

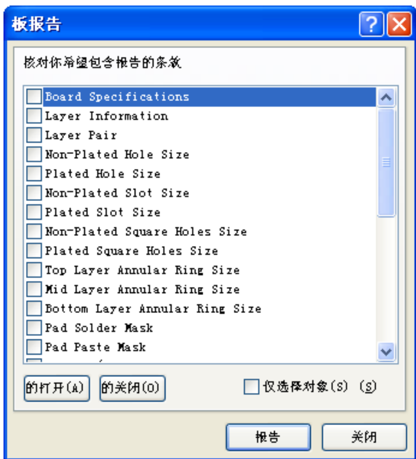



图 10-13 “板报告”对话框

报表列表选项设置完毕后，在“板报告”对话框中单击“报告”按钮，系统将生成“XXX.REP”的报表文件。该报表文件将作为自由文档加入到“Projects（工程）”面板中，并自动在工作区内打开。PCB 信息报表如图 10-14 所示。

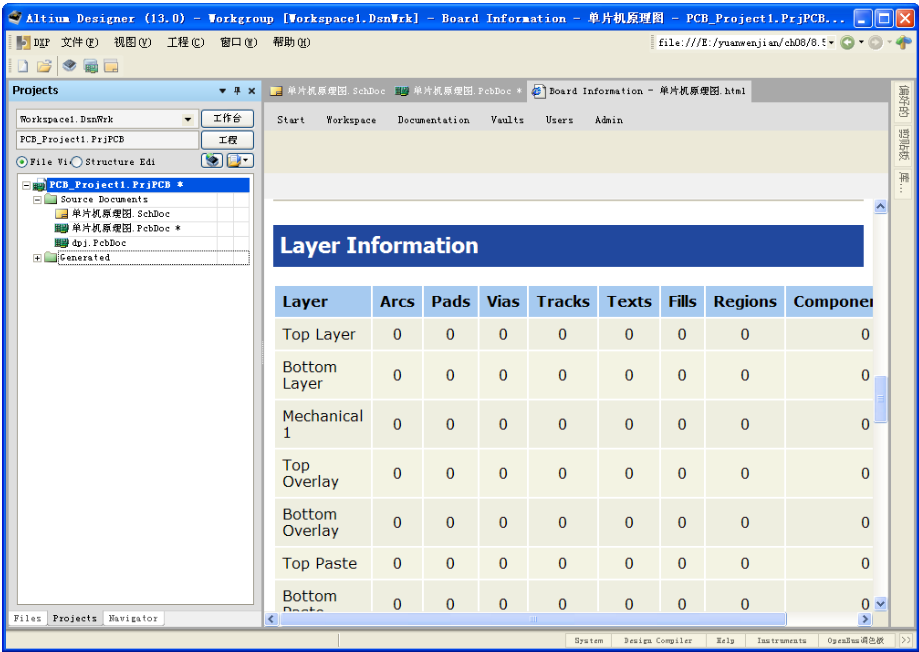



图 10-14 PCB 信息报表

## 10.3.3 元件清单

单击菜单栏中的“报告”→“Bill of Materials（元件清单）”命令，系统将弹出相应的元件报表对话框，如图 10-15 所示。

在该对话框中，可以对要创建的元件清单进行选项设置。左侧有两个列表框：

- “聚合的纵队”表框：用于设置元件的归类标准。可以将“所有纵队”中的某一属性信息拖到该列表框中，则系统将以该属性信息为标准，对元件进行归类，显示在元件清单中。
- “所有纵队”列表框：列出了系统提供的所有元件属性信息，对于需要查看的有用信息，勾选右侧与之对应的复选框，即可在元件清单中显示出来。在图 10-15 中，使用了系统的默认设置。

要生成并保存报表文件，单击对话框中的“输出”按钮，系统将弹出“Export For（输出为）”对话框。选择保存类型和保存路径，保存文件即可。

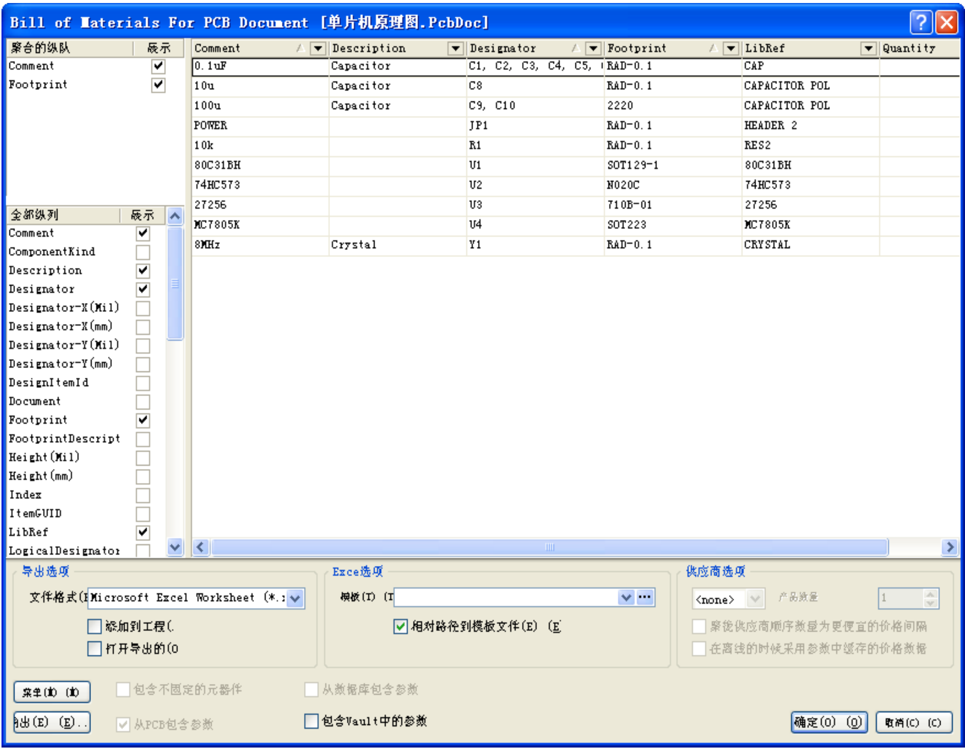



图 10-15 设置元件报表

## 10.3.4 简略元件清单

单击菜单栏中的“报告”→“Simple BOM（简略元件报表）”命令，系统将自动生成两份当前 PCB 文件的元件报表，分别为“XXX.BOM”和“XXX.CSV”。这两个文件被加入到“Projects（选项）”面板内该项目的生成文件夹中，并自动打开，如图 10-16 和图 10-17 所示。

简略元件报表将同种类型的元件统一计数，简单明了。报表以元件的 Comment（注释）为依据将元件分组，列出其 Comment（注释）、Pattern（Footprint）（样式）、Quantity（数量）、Components（Designator）（元件）和 Descriptor（描述符）等属性。

```
Bill of Material for
On 2013-3-20 at 下午05:17:48

 Comment              Pattern     Quantity  Components
------------------------------------------------------------------------
 0.1uF                RAD-0.1          7    C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7   Capacitor
 100u                 2220             2    C9, C10                      Capacitor
 10k                  RAD-0.1          1    R1
 10u                  RAD-0.1          1    C8                           Capacitor
 27256                710B-01          1    U3
 74HC573              N020C            1    U2
 80C31BH              SOT129-1         1    U1
 8MHz                 RAD-0.1          1    Y1                           Crystal
 MC7805K              SOT223           1    U4
 POWER                RAD-0.1          1    JP1
```

图 10-16　简略元件报表“.BOM”文件

```
"Bill of Material for "
"On 2013-3-20 at 下午05:17:48"

"Comment","Pattern","Quantity","Components"

"0.1uF","RAD-0.1","7","C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7","Capacitor"
"100u","2220","2","C9, C10","Capacitor"
"10k","RAD-0.1","1","R1",""
"10u","RAD-0.1","1","C8","Capacitor"
"27256","710B-01","1","U3",""
"74HC573","N020C","1","U2",""
"80C31BH","SOT129-1","1","U1",""
"8MHz","RAD-0.1","1","Y1","Crystal"
"MC7805K","SOT223","1","U4",""
"POWER","RAD-0.1","1","JP1",""
```

图 10-17　简略元件报表“.CSV”文件

### 10.3.5　网络表状态报表

该报表列出了当前 PCB 文件中所有的网络，并说明了它们所在工作层和网络中导线的总长度。单击菜单栏中的“报告”→“网络表状态”命令，即生成名为“XXX.REP”的网络表状态报表，其格式如图 10-18 所示。

| Nets | Layer | Length |
|---|---|---|
| 256CE | Signal Layers Only | 0mil |
| A0 | Signal Layers Only | 0mil |
| A1 | Signal Layers Only | 0mil |
| A10 | Signal Layers Only | 0mil |
| A11 | Signal Layers Only | 0mil |
| A12 | Signal Layers Only | 0mil |
| A13 | Signal Layers Only | 0mil |
| A14 | Signal Layers Only | 0mil |

图 10-18　网络表状态报表的格式

## 10.4　印制电路板图的打印输出

PCB 设计完毕就可将其源文件、制造文件和各种报表文件按需要进行存档、打印、输出等。例如，将 PCB 文件打印作为焊接装配指导文件，将元件报表打印作为采购清单，生成胶片文件送交加工单位进行 PCB 加工，当然也可直接将 PCB 文件交给加工单位用以加工 PCB。

### 10.4.1　打印 PCB 文件

利用 PCB 编辑器的文件打印功能，可以将 PCB 文件不同工作层上的图元按一定比例打印

输出，用以校验和存档。

1. 页面设置

PCB 文件在打印前要根据需要进行页面设定，其操作方式与 Word 文档中的页面设置非常相似。单击菜单栏中的“文件”→“页面设置”命令，系统将弹出如图 10-19 所示的“Composite Properties（复合页面属性设置）”对话框，可以设置相关属性。

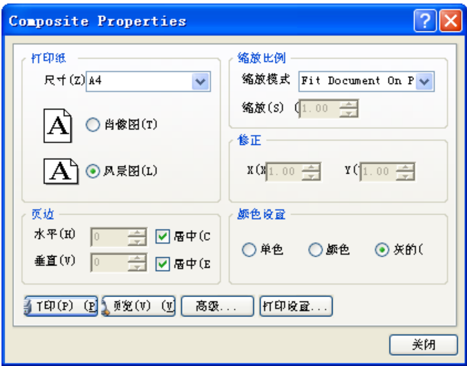



图 10-19 “Composite Properties”对话框

2. 打印输出属性

Step1 在如图 10-20 所示的“PCB Printout Properties（PCB 图层打印输出属性）”对话框中，双击“Multilayer Composite Print（多层复合打印）”左侧的页面图标，弹出如图 10-21 所示的“打印输出特性”对话框。在该对话框的“层”列表框中列出了将要打印的工作层，系统默认列出所有图元的工作层。通过底部的编辑按钮对打印层面进行添加、删除操作。

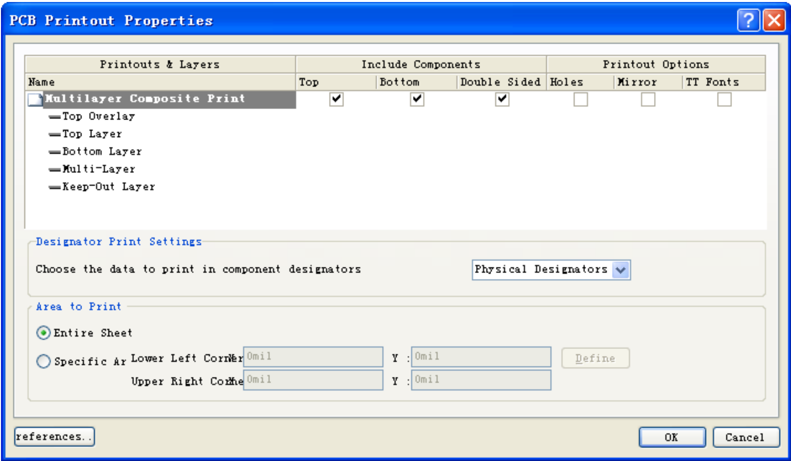



图 10-20 “PCB Printout Properties”对话框

Step2 单击“打印输出特性”对话框的“添加”按钮或“编辑”按钮，弹出如图 10-22 所示的“板层属性”对话框。在该对话框中进行图层打印属性的设置。在各个图元的选项组

中，提供了 3 种类型的打印方案，即“Full（全部）”、“Draft（草图）”和“Hide（隐藏）”。“Full（全部）”即打印该类图元全部图形画面，“Draft（草图）”只打印该类图元的外形轮廓，“Hide（隐藏）”则隐藏该类图元，不打印。



图 10-21 “打印输出特性”对话框



图 10-22 “板层属性”对话框

Step3 设置好“打印输出属性”对话框和“板层属性”对话框后，单击“OK（确定）”按钮，返回“PCB Printout Properties（PCB 打印输出属性）”对话框。单击“Preferences（参数）”按钮，系统将弹出如图 10-23 所示的“PCB 打印设置”对话框。在该对话框中用户可以分别设定黑白打印和彩色打印时各个图层的打印灰度和色彩。单击图层列表中各个图层的灰度条或彩色条，即可调整灰度和色彩。

Step4 设置好“PCB 打印设置”对话框后，单击“OK（确定）”按钮，返回 PCB 工作区界面。

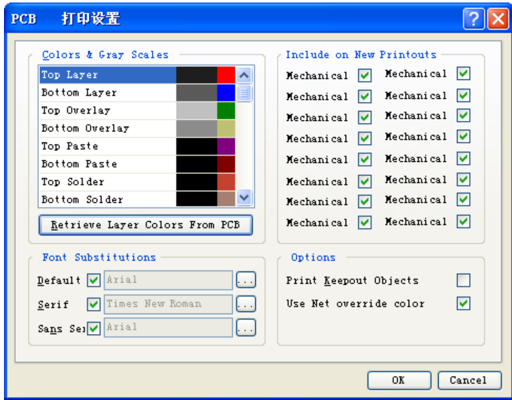


图 10-23 “PCB 打印设置”对话框

3．打印

单击“PCB 标准”工具栏中的 （打印）按钮，或者单击菜单栏中的“文件”→“打印”命令，打印设置好的 PCB 文件。

## 10.4.2　打印报表文件

打印报表文件的操作更加简单一些。打开各个报表文件之后，同样先进行页面设定，而且报表文件的“Advanced（高级）”属性设置也相对简单。“高级文本打印工具”对话框如图10-24所示。

勾选“使用特殊字体”复选框后，即可单击“改变”按钮重新设置用户想要使用的字体和大小，如图10-25所示。设置好页面的所有参数后，就可以进行预览和打印了。其操作与PCB文件打印相同，这里就不再赘述。

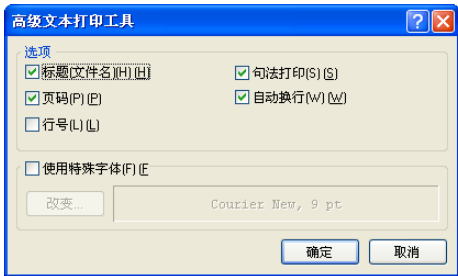



图10-24　“高级文本打印工具”对话框

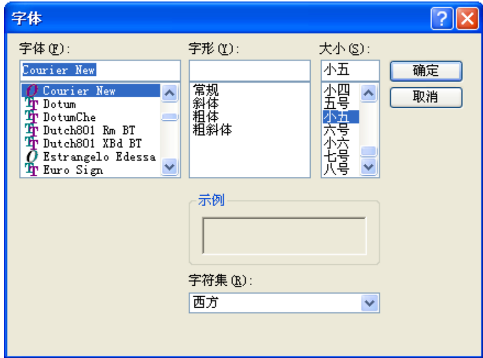



图10-25　重新设置字体

## 10.4.3　生成Gerber文件

Gerber文件是一种符合EIA标准，用于将PCB电路板图中的布线数据转换为胶片的光绘数据，可以被光绘图机处理的文件格式。PCB生产厂商用这种文件来进行PCB制作。各种PCB设计软件都支持生成Gerber文件的功能，一般我们可以把PCB文件直接交给PCB生产厂商，厂商会将其转换成Gerber格式。而有经验的PCB设计者通常会将PCB文件按自己的要求生成Gerber文件，再交给PCB厂商制作，确保PCB制作出来的效果符合个人定制的设计需要。

在PCB编辑器中，单击菜单栏中的“文件”→“制造输出”→“Gerber Files（Gerber文件）”命令，系统将弹出如图10-26所示的“GerberSetup”对话框。

该对话框中选项卡的设置将在后面的实例中展开讲述。

Altium Designer 13系统针对不同PCB层生成的Gerber文件对应着不同的扩展名，如下表所示。

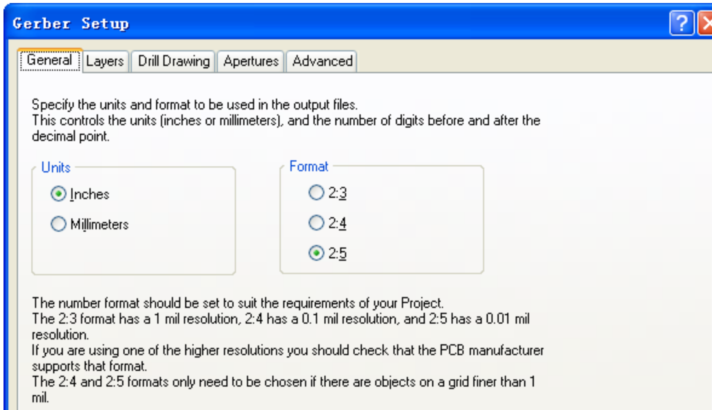



图10-26　“Gerber Setup”对话框

| PCB 层面 | Gerber 文件 扩展名 | PCB 层面 | Gerber 文件 扩展名 |
|---|---|---|---|
| Top Overlay | .GTO | Top Paste Mask | .GTP |
| Bottom Overlay | .GBO | Bottom Paste Mask | .GBP |
| Top Layer | .GTL | Drill Drawing | .GDD |
| Bottom Layer | .GBL | Drill Drawing Top to Mid1、Mid2 to Mid3 etc | .GD1、.GD2 etc |
| Mid Layer1、2 etc | .G1、.G2 etc | Drill Guide | .GDG |
| PowerPlane1、2 etc | .GP1、.GP2 etc | Drill Guide Top to Mid1、Mid2 to Mid3 etc | .GG1、.GG2 etc |
| Mechanical Layer1、2 etc | .GM1、.GM2 etc | Pad Master Top | .GPT |
| Top Solder Mask | .GTS | Pad Master Bottom | .GPB |
| Bottom Solder Mask | .GBS | Keep-out Layer | .GKO |

# 10.5　操作实例

## 10.5.1　电路板信息及网络状态报表

### 1．设计要求

利用如图 10-27 所示的 PCB 电路板图，生成电路板信息报表。通过电路板信息报表，了解电路板尺寸、电路板上的焊点、过孔的数量及电路板上的元件标号，通过网络状态可以了解电路板中每一条导线的长度。

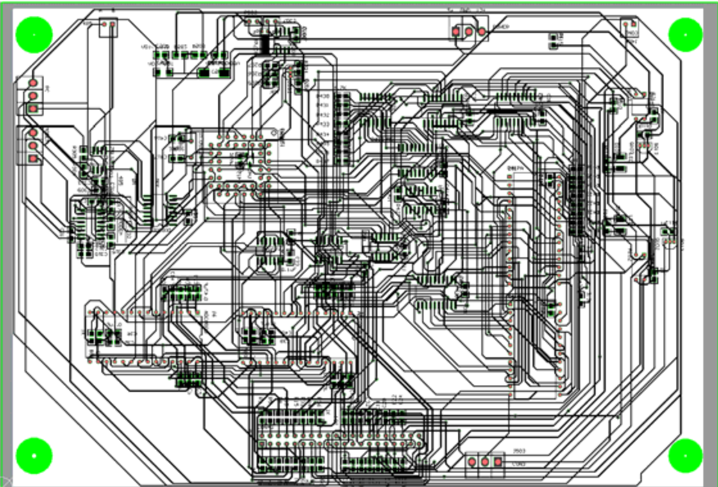


图 10-27　PCB 电路板图




图 10-28　“PCB 信息”对话框

### 2．操作步骤

Step1 单击菜单栏中的“报告”→“板子信息”命令，系统将弹出如图 10-28 所示的“PCB 信息”对话框。

Step2 单击“PCB 信息”对话框中的“通用”选项卡，显示电路板的尺寸、各种组件的数量、导线数量、焊点数量、导孔数量和违例数量等。

Step3 单击“PCB 信息”对话框中的“器件”选项卡，显示当前电路板上使用的元件序号及元件所在的板层等信息，如图 10-29 所示。

Step4 单击“PCB 信息”对话框中的“网络”选项卡，显示当前电路板中的网络信息，如图 10-30 所示。

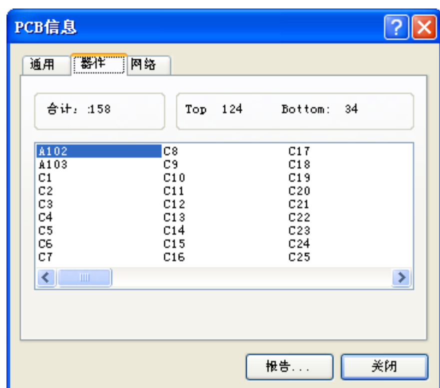



图 10-29 “器件”选项卡




图 10-30 “网络”选项卡

Step5 单击“网络”选项卡中的“Pwr/Gnd（电源/接地）”按钮，系统将弹出如图 10-31 所示的“中间层信息”对话框。对于双面板，该信息框是空白的。

Step6 单击“网络”选项卡中的“报告”按钮，系统将弹出如图 10-32 所示的“板报告”对话框。如果单击“所有的打开”按钮，则选中所有选项；如果单击“所有的关闭”按钮，则不选中任何选项；如果勾选“仅选择对象”复选框，则产生选中对象的电路板信息报表。

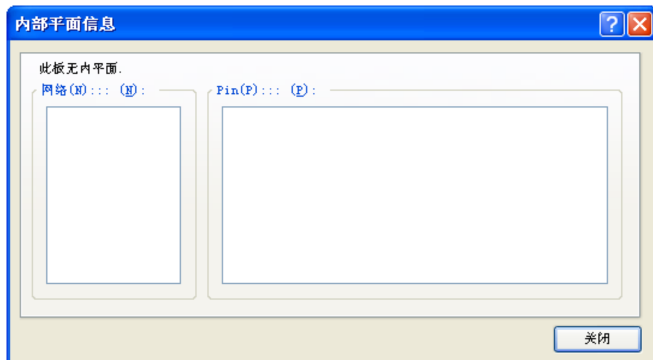



图 10-31 “内部平面信息”对话框

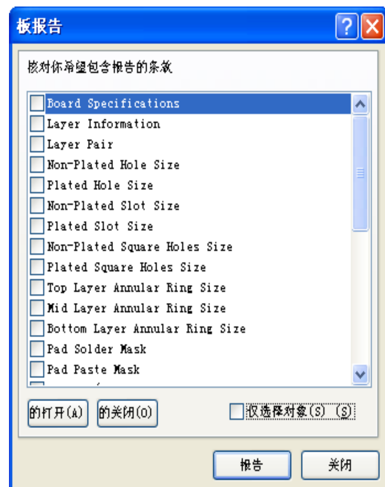



图 10-32 “板报告”对话框

Step7 单击“所有的打开”按钮，选中所有选项。再单击“报告”按钮，生成以“.REP”为后缀的报表文件，内容形式如图 10-33 所示。

Step8 单击菜单栏中的“报告”→“网络表状态”命令，生成以“.REP”为后缀的网络状态报表，如图 10-34 所示。

Layer Information

| Layer | Arcs | Pads | Vias | Tracks | Texts | Fills | Regions | Comp |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TopLayer | 0 | 382 | 0 | 2607 | 0 | 1 | 0 | |
| BottomLayer | 0 | 69 | 0 | 1559 | 0 | 0 | 0 | |
| Mechanical1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | |
| Mechanical4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| TopOverlay | 20 | 0 | 0 | 735 | 259 | 0 | 0 | |
| BottomOverlay | 0 | 0 | 0 | 204 | 68 | 0 | 0 | |
| TopPaste | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| BottomPaste | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| TopSolder | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

图 10-33　报表文件的内容形式

| Nets | Layer | Length |
|---|---|---|
| 485A | Signal Layers Only | 316.5906mm |
| 485B | Signal Layers Only | 328.0472mm |
| A0 | Signal Layers Only | 81.7175mm |
| A1 | Signal Layers Only | 63.6841mm |
| A10 | Signal Layers Only | 475.5245mm |
| A2 | Signal Layers | 72.8670mm |

图 10-34　网络状态报表

## 10.5.2　电路板元件清单

### 1．设计要求

利用如图 10-27 所示的 PCB 电路板图，生成电路板元件清单。元件清单是设计完成后首先要输出的一种报表，它将项目中使用的所有元件的有关信息进行统计输出，并且可以输出多种文件格式。通过对本例的学习，使读者掌握和熟悉根据所设计的 PCB 电路板图生成各种格式的元件清单报表方法。

### 2．操作步骤

Step1 打开 PCB 文件，单击菜单栏中的“报告”→“Bill of Materials（元件清单）”命令，弹出如图 10-35 所示“Bill of Materials for PCB（PCB 原件清单）”对话框。

Step2 在“所有纵队”列表框中列出了系统提供的所有元件属性信息，如“Description（元件描述信息）”、“Component Kind（元件类型）”等。本例勾选“Description（描述）”、“Designator（指示）”、“Footprint（引脚）”、“LibRef（库编号）”和“Quantity（数量）”复选框。

Step3 单击“菜单”按钮，在弹出的“菜单”菜单中单击“报告”命令，系统将弹出如图 10-36 所示的“报告预览”对话框。

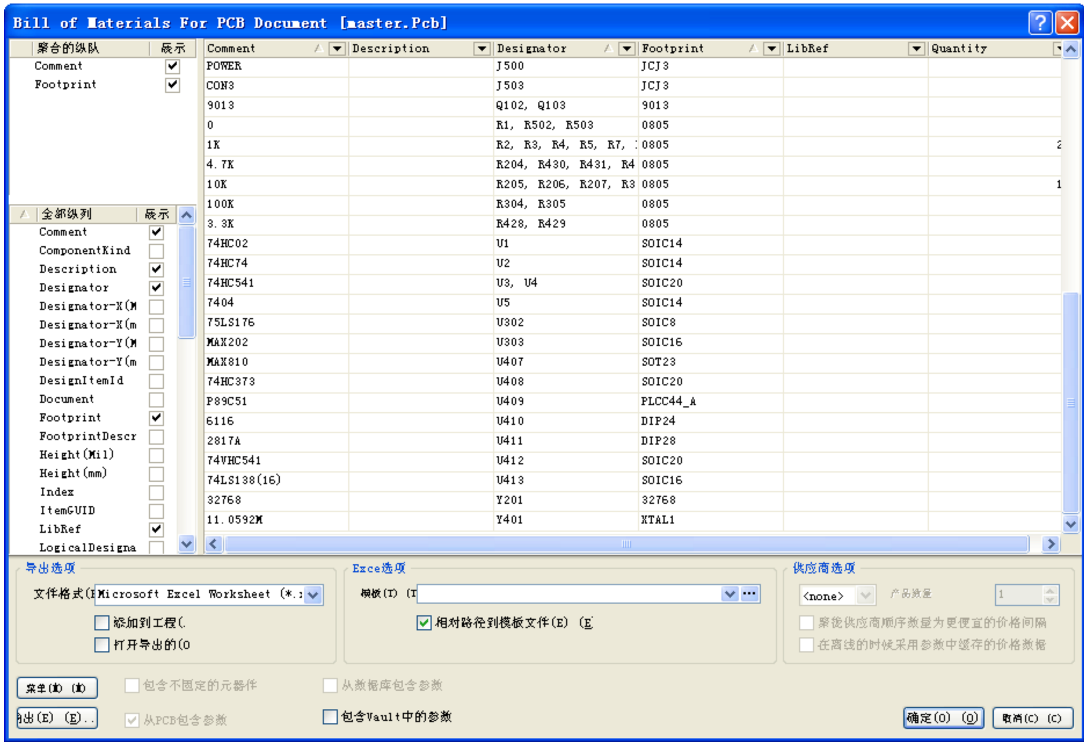



图 10-35 “Bill of Materials for PCB”对话框

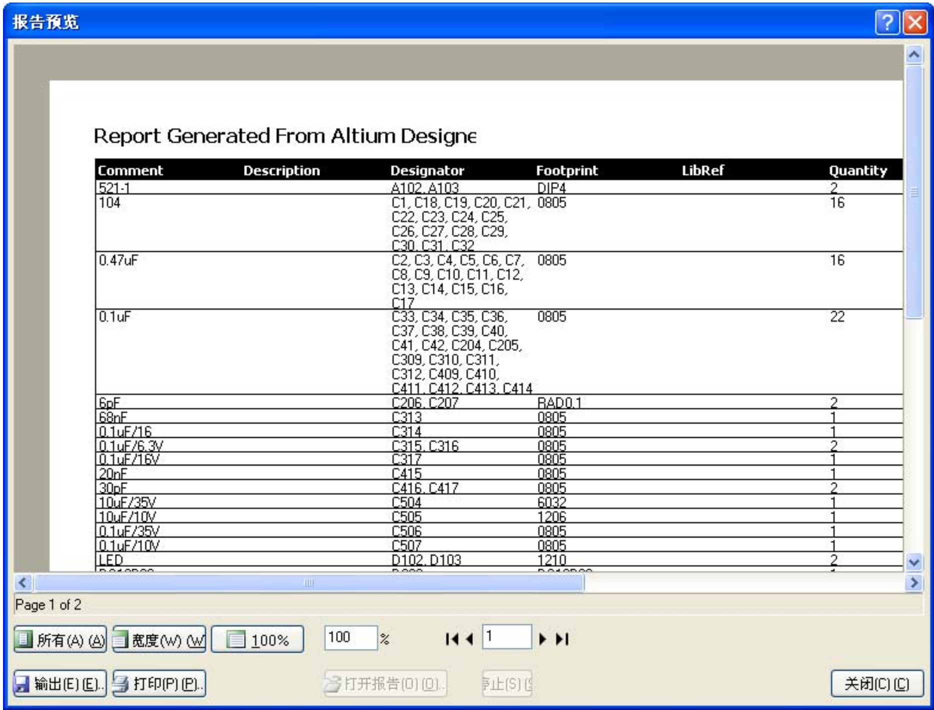



图 10-36 “报告预览”对话框

Step4 单击“输出”按钮，弹出如图 10-37 所示的“Export Report from Project（从项目中输出报表）”对话框，将报告导出为一个其他文件格式后保存。

Step5 输入文件名“master”，选择文件保存类型为“.xls”，单击“保存”按钮返回到“Report Preview（报表预览）”对话框。

Step6 单击“打印”按钮，打印元件清单。

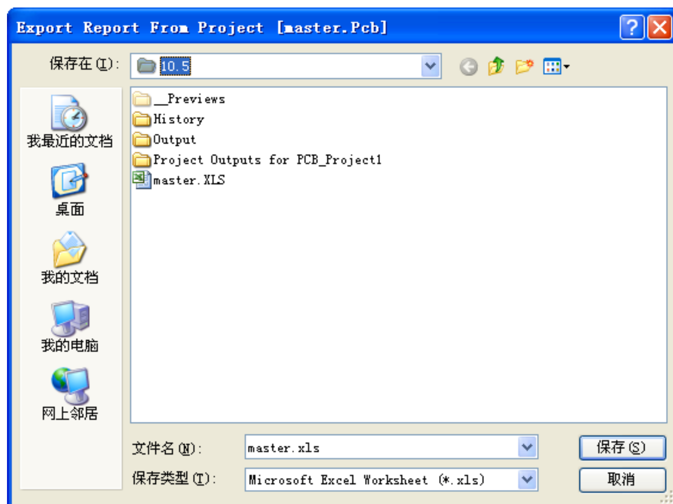



图 10-37 “Export Report from Project”对话框

## 10.5.3 PCB 图纸打印输出

### 1. 设计要求

利用如图 10-28 所示的 PCB 电路板图，完成图纸打印输出。通过对本例的学习，使读者掌握和熟悉 PCB 电路板图纸打印输出的方法和步骤。在进行打印机设置时，要完成打印机的类型设置、纸张大小的设置、电路图纸的设置。系统提供了分层打印和叠层打印两种打印模式，观察两种输出方式的不同。

### 2. 操作步骤

Step1 打开 PCB 文件，单击菜单栏中的“文件”→“页面设置”命令，弹出如图 10-38 所示的“Composite Properties（复合页面属性设置）”对话框。

Step2 在“打印纸”选项组中纸张大小设置为 A4，打印方式设置为“水平的”。

Step3 在“颜色设置”选项组中点选“灰的”单选钮。

Step4 在“缩放模式”下拉列表框中选择“Fit Document on Page（适合文档页面）”选项。

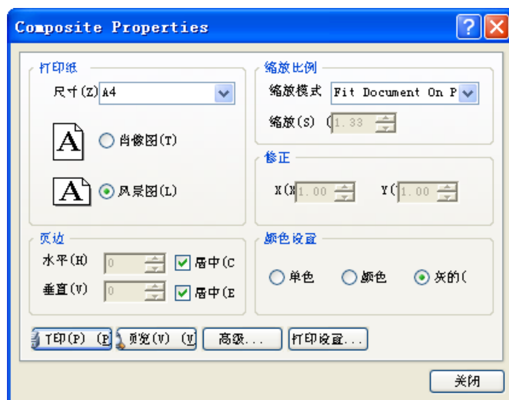



图 10-38 “Composite Properties”对话框

Step5 单击“高级”按钮，弹出如图 10-39 所示的“PCB Printout Properties（PCB 图层打印输出属性）”对话框。在该对话框中，显示了图 10-27 中 PCB 电路板图所用到的工作层。右击图 10-39 中需要的工作层，在弹出的右键快捷菜单中单击相应的命令，如图 10-40

所示，即可在进行打印时添加或者删除一个板层。

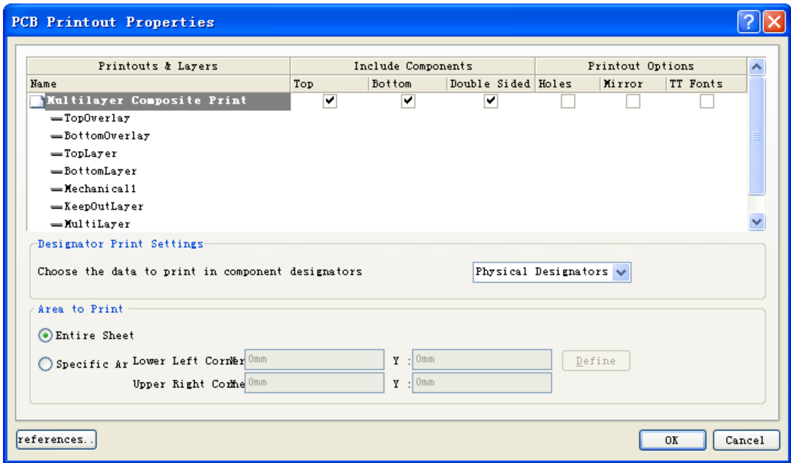



图 10-39 “PCB Printout Properties”对话框

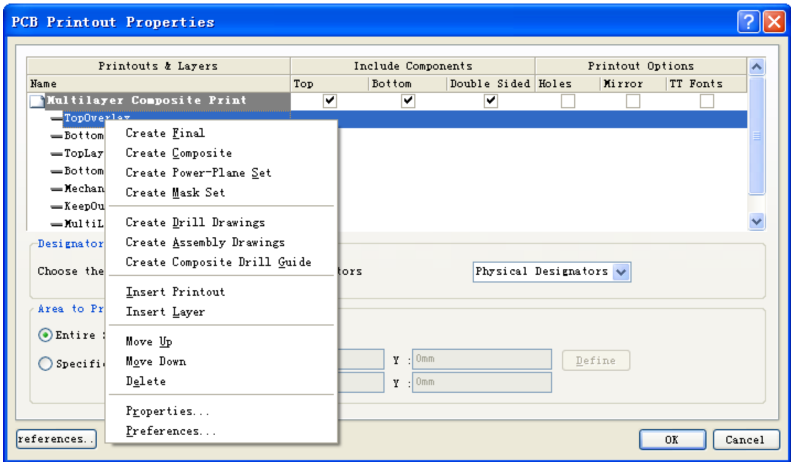



图 10-40 右键快捷菜单

Step6 在如图 10-39 所示的“PCB Printout Properties（PCB 图层打印输出属性）”对话框中，单击“Preferences（参数）”按钮，系统将弹出如图 10-41 所示的“PCB 打印设置”对话框，在该对话框中设置打印颜色、字体，设置完毕单击“OK”按钮，关闭对话框。

Step7 在如图 10-38 所示的“Composite Properties（复合页面属性设置）”对话框中，单击“预览”按钮，可以预览打印效果，如图 10-42 所示。

Step8 设置完毕后，单击“打印”

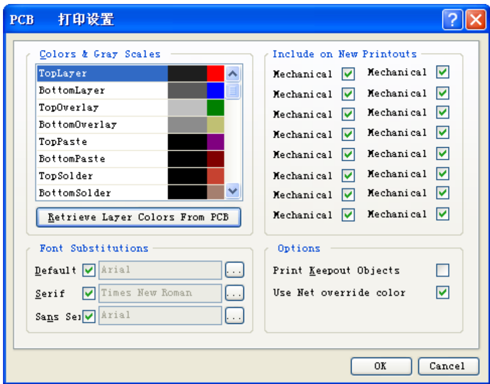



图 10-41 “PCB 打印设置”对话框

按钮，开始打印。

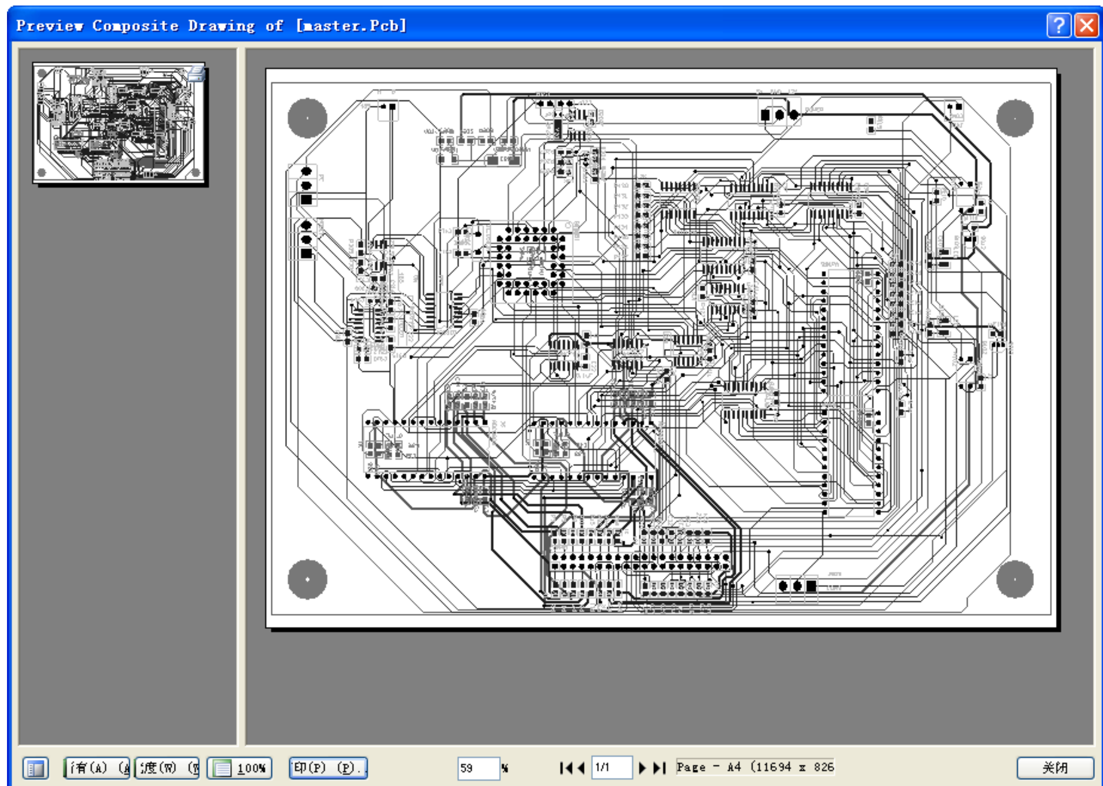



图 10-42　打印预览

## 10.5.4　生产加工文件输出

### 1．设计要求

PCB 设计的目的是向 PCB 生产过程提供相关的数据文件，因此，PCB 设计的最后一步就是产生 PCB 加工文件。

利用如图 10-27 所示的 PCB 电路板图，完成生产加工文件。需要完成 PCB 加工文件、信号布线层的数据输出、丝印层的数据输出、阻焊层的数据输出、助焊层的数据输出和钻孔数据的输出。通过对本例的学习，使读者掌握生产加工文件的输出，为生产部门实现 PCB 的生产加工提供文件。

### 2．操作步骤

Step1　打开 PCB 文件。单击菜单栏中的“文件”→“制作输出”→“Gerber Files(Gerber 文件)”命令，系统将弹出如图 10-43 所示的“Gerber 设置”对话框。

Step2　在“通用”选项卡的“单位”选项组中点选“英寸”单选钮，在“格式”选项组中点选“2:3”单选钮，如图 10-43 所示。

Step3 单击“层”选项卡，如图 10-44 所示，在该选项卡中选择输出的层，一次选中需要输出的所有层。

Step4 在“层”选项卡中，单击“画线层”按钮，选择“所有使用的”选项，如图 10-45 所示，选择输出顶层布线层。

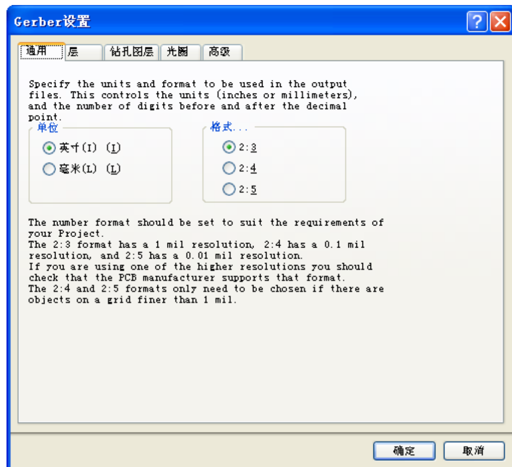


图 10-43　“Gerber 设置”对话框

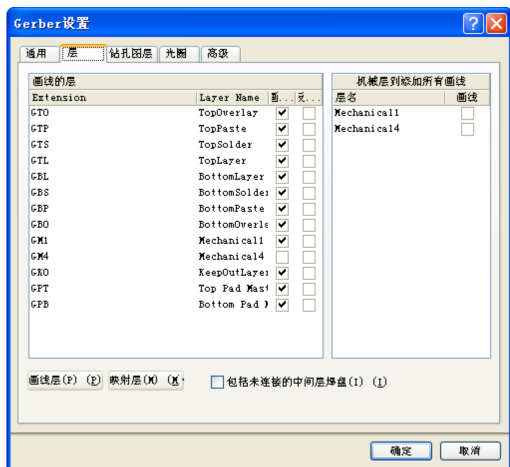


图 10-44　“Layers”选项卡

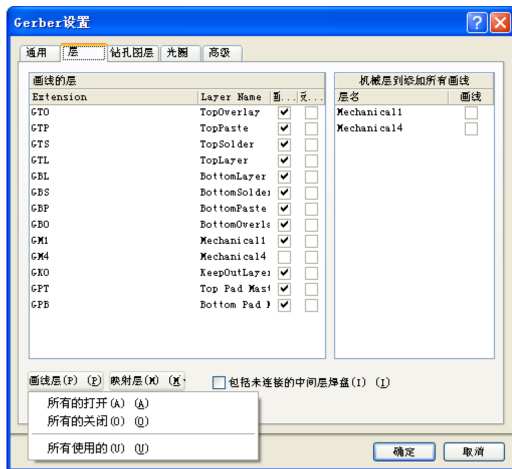


图 10-45　选择输出顶层布线层

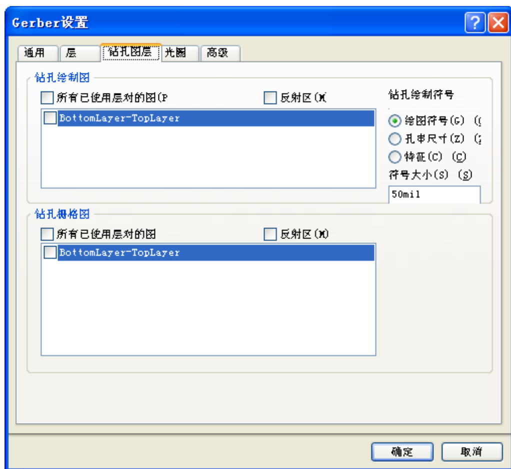


图 10-46　“钻孔图层”选项卡

Step5 单击“钻孔图层”选项卡，如图 10-46 所示。在“Drill Drawing Plots（钻孔图会制图）”选项组中勾选“BottomLayer-TopLayer（底层-顶层）”复选框，在该选项组右侧的“钻孔绘制符号”选项中点选“绘图符号”单选钮，将“孔串大小”设置为 50mil。

Step6 单击“光圈”选项卡，取消对“Embedded apertures（RS274X）（嵌入光圈）”复选框的勾选，如图 10-47 所示。此时系统将在输出加工数据时，自动产生 D 码文件。

Step7 单击“高级”选项卡，采用系统默认设置，如图 10-48 所示。

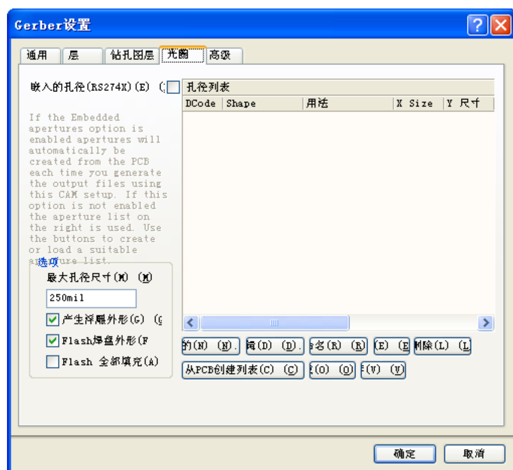



图 10-47 “光圈”选项卡

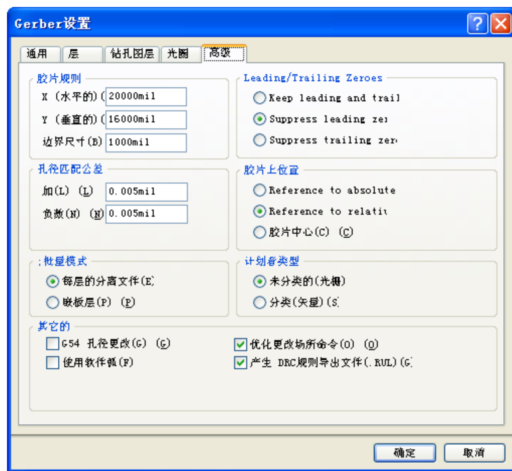



图 10-48 “高级”选项卡

Step8 单击“OK（确定）”按钮，得到系统输出的 Gerber 文件。同时系统输出各层的 Gerber 和钻孔文件，共 14 个。

Step9 单击菜单栏中的“文件”→“导出”→“Gerber（Gerber 文件)”命令，系统将弹出如图 10-49 所示的“输出 Gerber”对话框。

Step10 单击“RS-274-X”按钮，再单击“Settings（设置)”按钮，系统将弹出如图 10-50 所示的“Gerber Export Settings（Gerber 文件输出设置)”对话框。

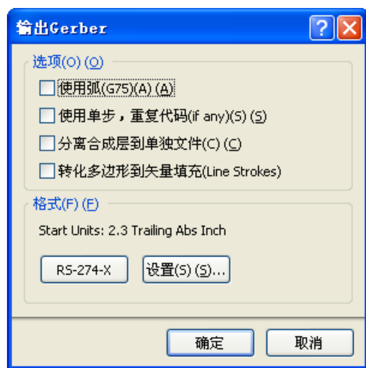



图 10-49 “Export Gerber（s）”对话框




图 10-50 “Gerber Export Settings”对话框

Step11 在“Gerber Export Settings（Gerber 文件输出设置)”对话框中，采用系统的默认设置，单击“OK（确定)”按钮。在“Export Gerber（s）（输出 Gerber 文件)”对话框中，还可以对需要输出的 Gerber 文件进行选择，单击“确定”按钮，系统将输出所有选中的 Gerber 文件。

Step12 在 PCB 编辑器中，单击菜单栏中的“文件”→“制作输出”→“NC Drill Files（输出无电气连接的钻孔图形文件)”命令，输出无电气连接钻孔图形文件，这里不再赘述。

# 第 11 章

# 创建元件库及元件封装

虽然 Altium Designer 13 为我们提供了丰富的元件库资源，但是在实际的电路设计中，由于电子元件制造技术的不断更新，有些特定的元件封装仍需我们自行制作。另外，根据工程项目的需要，建立基于该项目的元件封装库，有利于在以后的设计中更加方便快速地调入元件封装，管理工程文件。

本章将对元件库的创建及元件封装进行详细介绍，使读者学习如何管理自己的元件封装库，从而更好地为设计服务。

## 知识点

- 创建原理图元件库
- 创建 PCB 元件库
- 元件封装

# 11.1　创建原理图元件库

首先介绍制作原理图元件库的方法。打开或新建一个原理图元件库文件，即可进入原理图元件库文件编辑器。例如，打开系统自带的 4 Port Serial Interface 工程中的项目元件库 4 Port Serial Interface.SchLib，原理图元件库文件编辑器如图 11-1 所示。

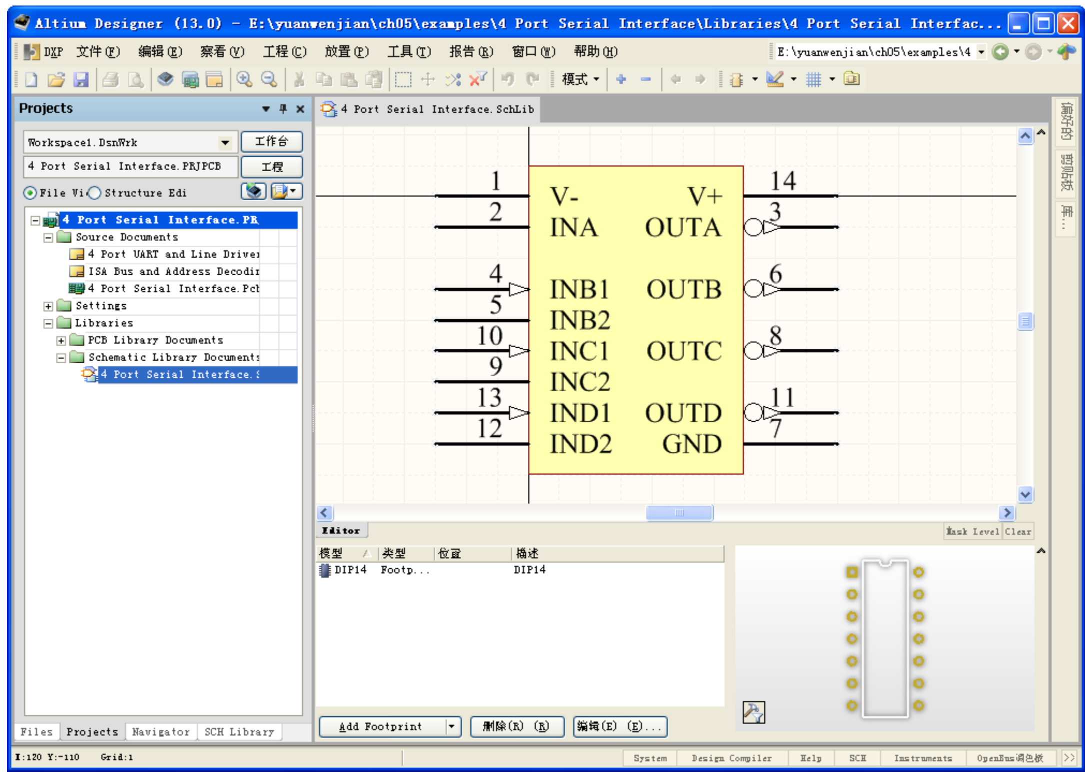


图 11-1　原理图元件库文件编辑器

## 11.1.1　元件库面板

在原理图元件库文件编辑器中，单击工作面板中的“SCH Library（SCH 元件库）”标签页，即可显示“SCH Library（SCH 元件库）”面板。该面板是原理图元件库文件编辑环境中的主面板，几乎包含了用户创建的库文件的所有信息，用于对库文件进行编辑管理，如图 11-2 所示。

1. “器件”列表框

在“器件”元件列表框中列出了当前所打开的原理图元件库文件中的所有库元件，包括原理图符号名称及相应的描述等。其中各按钮的功能如下：

● “放置”按钮：用于将选定的元件放置到当前原理图中。
● “添加”按钮：用于在该库文件中添加一个元件。
● “删除”按钮：用于删除选定的元件。
● “编辑”按钮：用于编辑选定元件的属性。

2．“别名”列表框

在“别名”列表框中可以为同一个库元件的原理图符号设置别名。例如，有些库元件的功能、封装和引脚形式完全相同，但由于产自不同的厂家，其元件型号并不完全一致。对于这样的库元件，没有必要再单独创建一个原理图符号，只需要为已经创建的其中一个库元件的原理图符号添加一个或多个别名就可以了。可以进行添加（Add）、删除（Delete）和编辑（Edit）操作。

3．“Pins（引脚）”列表框

在“器件”列表框中选定一个元件，在“Pins（引脚）”列表框中会列出该元件的所有引脚信息，包括引脚的编号、名称、类型。可以进行“添加”、“删除”和“编辑”操作。

4．“模型”列表框

在“器件”列表框中选定一个元件，在“模型”列表框中会列出该元件的其他模型信息，包括 PCB 封装、信号完整性分析模型、VHDL 模型等。在这里，由于只需要显示库元件的原理图符号，相应的库文件是原理图文件，所以该列表框一般不需要设置。可以进行“添加”、“删除”和“编辑”操作。




图 11-2 “SCH Library”面板

## 11.1.2 工具栏

对于原理图元件库文件编辑环境中的菜单栏及工具栏，由于功能和使用方法与原理图编辑环境中基本一致，在此不再赘述。我们主要对“实用”工具栏中的原理图符号绘制工具、IEEE 符号工具及“模式”工具栏进行简要介绍，具体的操作将在后面的章节中进行介绍。

1．原理图符号绘制工具

单击“实用”工具栏中的按钮，弹出相应的原理图符号绘制工具，如图 11-3 所示。其中各按钮的功能与“放置”菜单中的各命令具有对应关系。

其中各按钮的功能说明如下：

- ：绘制直线。
- ：绘制贝塞儿曲线。
- ：绘制椭圆弧线。
- ：绘制多边形。
- ：添加说明文字。
- ：用于放置超链接。
- ：放置文本框。
- ：绘制矩形。
- ：在当前库文件中添加一个元件。
- ：在当前元件中添加一个元件子功能单元。
- ：绘制圆角矩形。
- ：绘制椭圆。
- ：绘制扇形。
- ：插入图片。
- ：放置引脚。

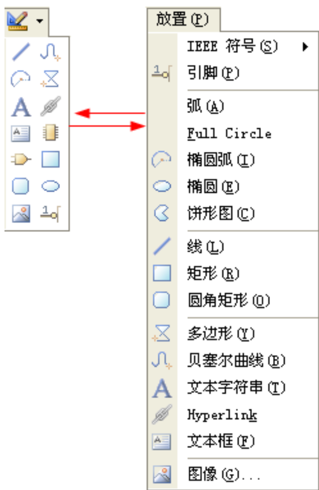



图 11-3　原理图符号绘制工具

这些按钮与原理图编辑器中的按钮十分相似，这里不再赘述。

2．IEEE 符号工具

单击“实用”工具栏中的 按钮，弹出相应的 IEEE 符号工具，如图 11-4 所示，是符合 IEEE 标准的一些图形符号。其中各按钮的功能与“放置”菜单中“IEEE Symbols（IEEE 符号）”命令的子菜单中的各命令具有对应关系。

其中各按钮的功能说明如下：

- ：放置点状符号。
- ：放置左向信号流符号。
- ：放置时钟符号。
- ：放置低电平输入有效符号。
- ：放置模拟信号输入符号。
- ：放置无逻辑连接符号。
- ：放置延迟输出符号。
- ：放置集电极开路符号。
- ：放置高阻符号。
- ：放置大电流输出符号。
- ：放置脉冲符号。
- ：放置延迟符号。
- ：放置分组线符号。
- ：放置二进制分组线符号。
- ：放置低电平有效输出符号。

- ：放置 π 符号。
- ：放置大于等于符号。
- ：放置集电极开路正偏符号。
- ：放置发射极开路符号。
- ：放置发射极开路正偏符号。
- ：放置数字信号输入符号。
- ：放置反向器符号。
- ：放置或门符号。
- ：放置输入、输出符号。
- ：放置与门符号。
- ：放置异或门符号。
- ：放置左移符号。
- ：放置小于等于符号。
- ：放置求和符号。
- ：放置施密特触发输入特性符号。
- ：放置右移符号。
- ：放置开路输出符号。
- ：放置右向信号传输符号。
- ：放置双向信号传输符号。




图 11-4　IEEE 符号工具

3.“模式”工具栏

“模式”工具栏用于控制当前元件的显示模式，如图 11-5 所示。

- “模式”按钮：单击该按钮，可以为当前元件选择一种显示模式，系统默认为“Normal（正常）”。
- ：单击该按钮，可以为当前元件添加一种显示模式。
- ：单击该按钮，可以删除元件的当前显示模式。
- ：单击该按钮，可以切换到前一种显示模式。
- ：单击该按钮，可以切换到后一种显示模式。




图 11-5　“模式”工具栏

## 11.1.3　设置元件库编辑器工作区参数

在原理图元件库文件的编辑环境中，单击菜单栏中的“工具”→“文档选项”命令，系统将弹出如图 11-6 所示的“库编辑器工作台”对话框，在该对话框中可以根据需要设置相应的参数。

该对话框与原理图编辑环境中的“文档选项”对话框内容相似，所以这里只介绍其中个别选项的含义，对于其他选项，用户可以参考前面章节介绍的关于原理图编辑环境的“文档选项”对话框的设置方法。

- “显示隐藏 Pin（显示隐藏管脚）”复选框：用于设置是否显示库元件的隐藏引脚。隐藏引脚被显示出来，并没有改变引脚的隐藏属性。要改变其隐藏属性，只能通过引脚属性对话框来完成。
- “习惯尺寸”选项组：用于用户自定义图纸的大小。
- “库描述”文本框：用于输入原理图元件库文件的说明。在该文本框中输入必要的说明，可以为系统进行元件库查找提供相应的帮助。

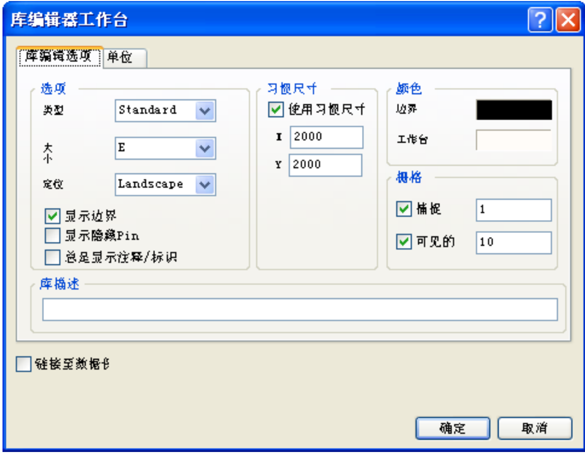



图 11-6 “库编辑器工作台”对话框

### 11.1.4 绘制库元件

下面以绘制美国 Cygnal 公司的一款 USB 微控制器芯片 C8051F320 为例，详细介绍原理图符号的绘制过程。

1. 绘制库元件的原理图符号

Step1 单击菜单栏中的“文件”→“New（新建）”→“Library（元件库）”→“原理图库”命令，打开原理图元件库文件编辑器，创建一个新的原理图元件库文件，命名为“NewLib.SchLib”。

Step2 单击菜单栏中的“工具”→“文档选项”命令，在弹出的库编辑器工作区对话框中进行工作区参数设置。

Step3 为新建的库文件原理图符号命名。在创建了一个新的原理图元件库文件的同时，系统已自动为该库添加了一个默认原理图符号名为“Component-1”的库元件，在“SCH Library（SCH 元件库）”面板中可以看到。通过以下两种方法，可以为该库元件重新命名。

- 单击原理图符号绘制工具中的（产生器件）按钮，系统将弹出原理图符号名称对话框，在该对话框中输入自己要绘制的库元件名称。

- 在“SCH Library（SCH 元件库）”面板中，直接单击原理图符号名称栏下面的“添加”按钮，也会弹出原理图符号名称对话框。

在这里，输入“C8051F320”，单击“确定”按钮，关闭该对话框。

Step4 单击原理图符号绘制工具中的□（放置矩形）按钮，光标变成十字形状，并附有一个矩形符号。单击两次，在编辑窗口的第四象限内绘制一个矩形。

矩形用来作为库元件的原理图符号外形，其大小应根据要绘制的库元件引脚数的多少来决定。由于我们使用的 C8051F320 采用 32 引脚 LQFP 封装形式，所以应画成正方形，并画得大一些，以便于引脚的放置。引脚放置完毕后，可以再调整成合适的尺寸。

2．放置引脚

Step1 单击原理图符号绘制工具中的（放置引脚）按钮，光标变成十字形状，并附有一个引脚符号。

Step2 移动该引脚到矩形边框处，单击完成放置，如图 11-7 所示。在放置引脚时，一定要保证具有电气连接特性的一端，即带有“×”号的一端朝外，这可以通过在放置引脚时按 Space 键旋转来实现。

Step3 在放置引脚时按 Tab 键，或者双击已放置的引脚，系统将弹出如图 11-8 所示的“管脚属性”对话框，在该对话框中可以对引脚的各项属性进行设置。

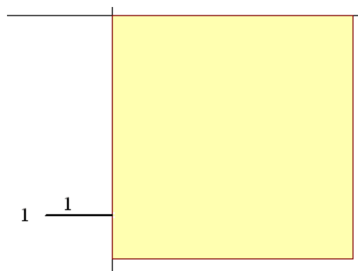



图 11-7　放置元件引脚




图 11-8　“管脚属性”对话框

Step4 设置完毕后，单击“确定”按钮，关闭该对话框，设置好属性的引脚如图 11-9 所示。

Step5 按照同样的操作，或者使用阵列粘贴功能，完成其余 31 个引脚的放置，并设

置好相应的属性。放置好全部引脚的库元件如图 11-10 所示。

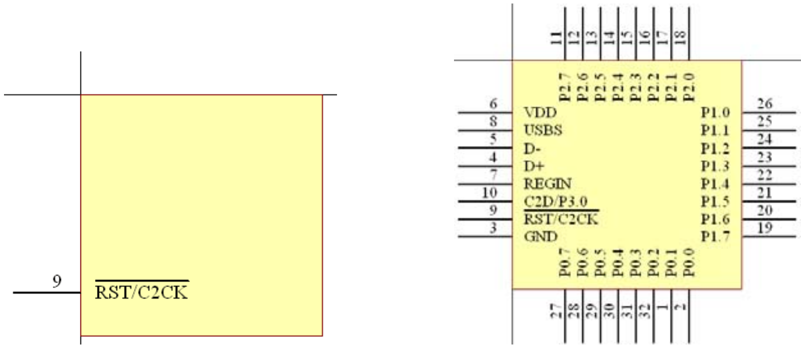



图 11-9　设置好属性的引脚　　　　图 11-10　放置好全部引脚的库元件

“管脚属性”对话框中各项属性含义如下：

- “显示名称”文本框：用于设置库元件引脚的名称。例如，我们把该引脚设定为第 9 引脚。由于 C8051F320 的第 9 引脚是元件的复位引脚，低电平有效，同时也是 C2 调试接口的时钟信号输入引脚。另外，在原理图优先设定“逻辑的”标签页中，已经勾选了“Single ‘\’ Negation（简单\否定）”复选框，因此在这里输入名称为“\RST/C2CK”，并勾选右侧的“可见的”复选框。
- “标识”文本框：用于设置库元件引脚的编号，应该与实际的引脚编号相对应，这里输入 9。
- “电气类型”下拉列表框：用于设置库元件引脚的电气特性。有 Input（输入）、IO（输入输出）、Output（输出）、OpenCollector（打开集流器）、Passive（中性的）、Hiz（脚）、Emitter（发射器）和 Power（激励）8 个选项。在这里，选择“Passive”（中性的）选项，表示不设置电气特性。
- “描述”文本框：用于填写库元件引脚的特性描述。
- “隐藏管脚”复选框：用于设置引脚是否为隐藏引脚。若勾选该复选框，则引脚将不会显示出来。此时，应在右侧的“Connect To（连接到）”文本框中输入与该引脚连接的网络名称。
- “符号”选项组：根据引脚的功能及电气特性为该引脚设置不同的 IEEE 符号，作为读图时的参考。可放置在原理图符号的内部、内部边沿、外部边沿或外部等不同位置，没有任何电气意义。
- “VHDL 参数”选项组：用于设置库元件的 VHDL 参数。
- “绘图”选项组：用于设置该引脚的位置、长度、方向、颜色等基本属性。

3．编辑元件属性

Step1　双击“SCH Library（SCH 元件库）”面板原理图符号名称栏中的库元件名称“C8051F320”，系统弹出如图 11-11 所示的“Library Component Properties（库元件属性）”对话框。在该对话框中可以对自己所创建的库元件进行特性描述，并且设置其他属性参数。主要设置包括以下几项：

- “Default Designator（默认符号）”文本框：默认库元件标号，即把该元件放置到原理图文件中时，系统最初默认显示的元件标号。这里设置为“U？”，并勾选右侧的“Visible（可用）”复选框，则放置该元件时，序号“U？”会显示在原理图上。
- “Default Comment（元件）”下拉列表框：用于说明库元件型号。这里设置为“C8051F320”，并勾选右侧的“Visible（可见）”复选框，则放置该元件时，“C8051F320”会显示在原理图上。
- “Description”（描述）”文本框：用于描述库元件功能。这里输入“USB MCU”。
- “Type（类型）”下拉列表框：库元件符号类型，可以选择设置。这里采用系统默认设置“Standard（标准）”。
- “Library Link（元件库线路）”选项组：库元件在系统中的标识符。这里输入“C8051F320”。

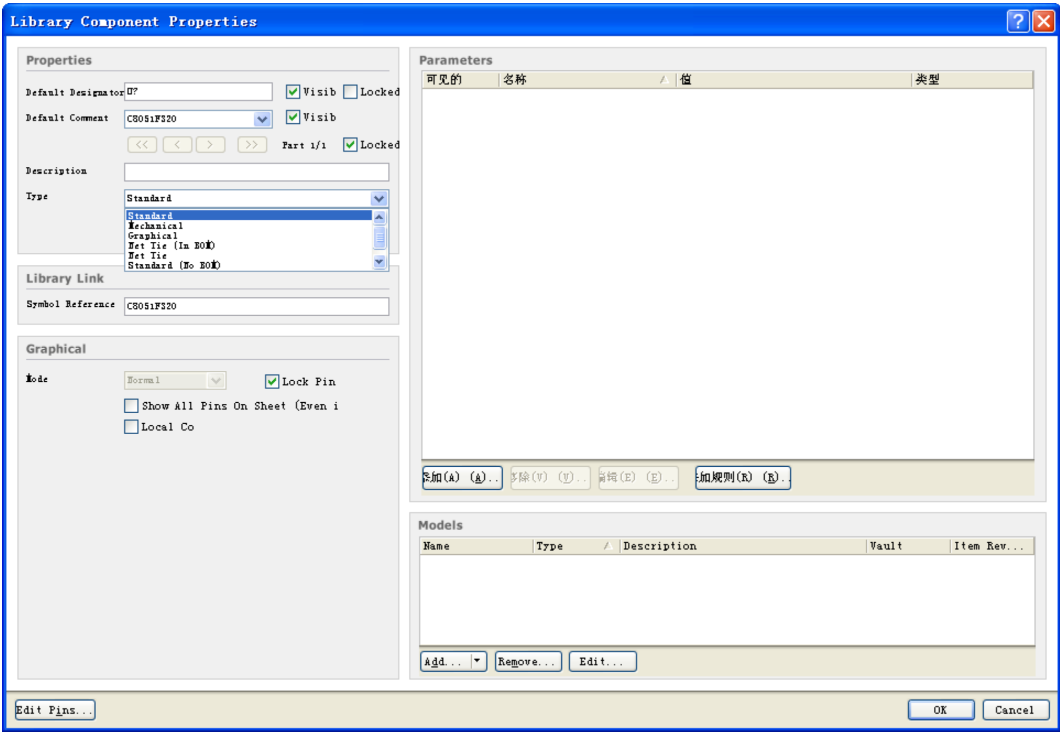



图 11-11 “Library Component Properties”对话框

- “Show All Pins On Sheet（Even if Hidden）（在原理图中显示全部引脚）”复选框：勾选该复选框后，在原理图上会显示该元件的全部引脚。
- “Lock Pins（锁定引脚）”复选框：勾选该复选框后，所有的引脚将和库元件成为一个整体，不能在原理图上单独移动引脚。建议用户勾选该复选框，这样对电路原理图的绘制和编辑会有很大好处，以减少不必要的麻烦。
- 在“Parameters”列表框中，单击“添加”按钮，可以为库元件添加其他的参数，如版本、作者等。

- 在“Models”列表框中，单击“Add（添加）”按钮，可以为该库元件添加其他的模型，如 PCB 封装模型、信号完整性模型、仿真模型、PCB 3D 模型等。
- 单击对话框左下角的“Edit Pins（编辑引脚）”按钮，系统将弹出如图 11-12 所示的“元件管脚编辑器”对话框，在该对话框中可以对该元件所有引脚进行一次性的编辑设置。

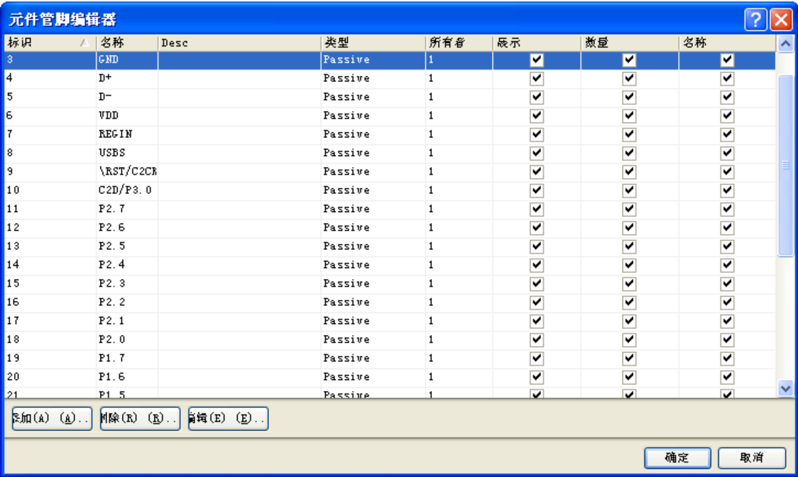



图 11-12 “元件管脚编辑器”对话框

Step2 设置完毕后，单击“确定”按钮，关闭该对话框。

Step3 单击菜单栏中的“放置”→“文本字符串”命令，或者单击原理图符号绘制工具中的**A**（放置文本字符串）按钮，光标将变成十字形状，并带有一个文本字符串。

Step4 移动光标到原理图符号中心位置处，此时按 Tab 键或者双击字符串，系统会弹出如图 11-13 所示的“标注”对话框，在“文本”文本框中输入“SILICON”。

Step5 单击“确定”按钮，关闭该对话框。结果如图 11-14 所示。在绘制电路原理图时，只需要将该元件所在的库文件打开，就可以随时取用该元件了。




图 11-13 “标注”对话框

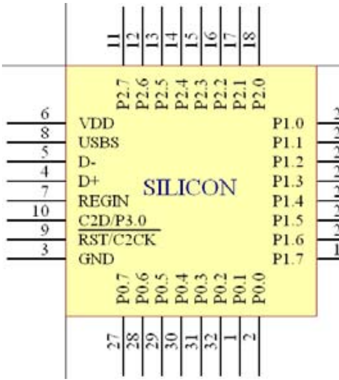



图 11-14 库元件 C8051F320 的原理图符号

### 11.1.5 绘制含有子部件的库元件

下面利用相应的库元件管理命令，绘制一个含有子部件的库元件 LF353。

LF353 是美国 TI 公司生产的双电源结型场效应管输入的双运算放大器，在高速积分、采样保持等电路设计中经常用到，采用 8 引脚的 DIP 封装形式。

1．绘制库元件的第一个子部件

Step1 单击菜单栏中的“文件”→“New（新建）”→“Library（元件库）”→“原理图库”命令，打开原理图元件库文件编辑器，创建一个新的原理图元件库文件，命名为“NewLib.SchLib”。

Step2 单击菜单栏中的“工具”→“文档选项”命令，在弹出的库编辑器工作区对话框中进行工作区参数设置。

Step3 为新建的库文件原理图符号命名。在创建了一个新的原理图元件库文件的同时，系统已自动为该库添加了一个默认原理图符号名为“Component-1”的库文件，在“SCH Library（SCH 元件库）”面板中可以看到。通过以下两种方法为该库文件重新命名。

- 单击原理图符号绘制工具中的（产生器件）按钮，系统将弹出如图 11-15 所示的“New Component Name（新元件名称）”对话框，在该对话框中输入自己要绘制的库文件名称。
- 在“SCH Library（SCH 元件库）”面板中，直接单击原理图符号名称栏下面的“Add（添加）”按钮，也会弹出“New Component Name（新元件名称）”对话框。

在这里，我们输入“LF353”，单击“确定”按钮，关闭该对话框。



图 11-15 “New Component Name”对话框

Step4 单击原理图符号绘制工具中的（放置多边形）按钮，光标变成十字形状，以编辑窗口的原点为基准，绘制一个三角形的运算放大器符号。

2．放置引脚

Step1 单击原理图符号绘制工具中的（放置引脚）按钮，光标变成十字形状，并附有一个引脚符号。

Step2 移动该引脚到多边形边框处，单击完成放置。用同样的方法，放置引脚 1、2、3、4、8 在三角形符号上，并设置好每一个引脚的属性，如图 11-16 所示。这样就完成了一个运算放大器原理图符号的绘制。

其中，1 引脚为输出端“OUT1”，2、3 引脚为输入端“IN1（－）”、“IN1（＋）”，8、4 引脚为公共的电源引脚“VCC＋”、“VCC－”。对这两个电源引脚的属性可以设置为“隐藏”。单击菜单栏中的“察看”→“显示隐藏引脚”命令，可以切换进行显示查看或隐藏。

3．创建库元件的第二个子部件

Step1 单击菜单栏中的“编辑”→“选择”→“选择区域内对象”命令，或者单击“Sch Lib Standard（原理图元件库标准）”工具栏中的 （区域内选择对象）按钮，将图 11-16 中的子部件原理图符号选中。

Step2 单击“Sch Lib Standard（原理图元件库标准）”工具栏中的 （复制）按钮，复制选中的子部件原理图符号。

Step3 单击菜单栏中的“工具”→“New Part（新建部件）”命令，在“SCH Library（SCH 元件库）”面板上库元件“LF353”的名称前多了一个⊞符号，单击⊞符号，可以看到该元件中有两个子部件，刚才绘制的子部件原理图符号系统已经命名为“Part A”，另一个子部件“Part B”是新创建的。

Step4 单击“原理图库标准”工具栏中的 （粘贴）按钮，将复制的子部件原理图符号粘贴在“Part B”中，并改变引脚序号：7 引脚为输出端“OUT2”，6、5 引脚为输入端“IN2（－）”、“IN2（＋）”，8、4 引脚仍为公共的电源引脚“VCC＋”、“VCC－”，如图 11-17 所示。

至此，一个含有两个子部件的库元件就创建好了。使用同样的方法，可以创建含有多个子部件的库元件。

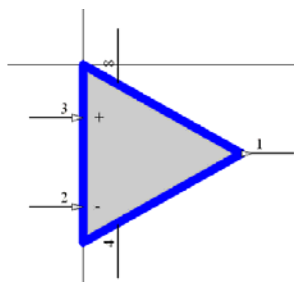



图 11-16　放置所有引脚

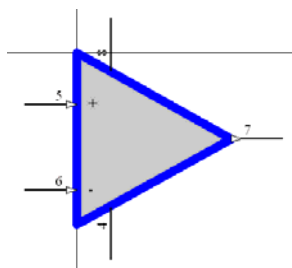



图 11-17　改变引脚序号

# 11.2　创建 PCB 元件库及元件封装

## 11.2.1　封装概述

电子元件种类繁多，其封装形式也是多种多样。所谓封装是指安装半导体集成电路芯片用的外壳，它不仅起着安放、固定、密封、保护芯片和增强导热性能的作用，还是沟通芯片内部世界与外部电路的桥梁。

芯片的封装在 PCB 板上通常表现为一组焊盘、丝印层上的边框及芯片的说明文字。焊盘是封装中最重要的组成部分，用于连接芯片的引脚，并通过印制板上的导线连接到印制板上的其他焊盘，进一步连接焊盘所对应的芯片引脚，实现电路功能。在封装中，每个焊盘都有惟一的标号，以区别封装中的其他焊盘。丝印层上的边框和说明文字主要起指示作用，指明焊盘组所对应的芯片，方便印制板的焊接。焊盘的形状和排列是封装的关键组成部分，确保

焊盘的形状和排列正确才能正确地建立一个封装。对于安装有特殊要求的封装，边框也需要绝对正确。

Altium Designer 13 提供了强大的封装绘制功能，能够绘制各种各样的新型封装。考虑到芯片引脚的排列通常是有规则的，多种芯片可能有同一种封装形式，Altium Designer 13 提供了封装库管理功能，绘制好的封装可以方便地保存和引用。

### 11.2.2 常用元件封装介绍

总体上讲，根据元件所采用安装技术的不同，可分为通孔安装技术（Through Hole Technology，简称 THT）和表面安装技术（Surface Mounted Technology，简称 SMT）。

使用通孔安装技术安装元件时，元件安置在电路板的一面，元件引脚穿过 PCB 板焊接在另一面上。通孔安装元件需要占用较大的空间，并且要为所有引脚在电路板上钻孔，所以它们的引脚会占用两面的空间，而且焊点也比较大。但从另一方面来说，通孔安装元件与 PCB 连接较好，机械性能好。例如，排线的插座、接口板插槽等类似接口都需要一定的耐压能力，因此，通常采用 THT 安装技术。

表面安装元件，引脚焊盘与元件在电路板的同一面。表面安装元件一般比通孔元件体积小，而且不必为焊盘钻孔，甚至还能在 PCB 板的两面都焊上元件。因此，与使用通孔安装元件的 PCB 板比起来，使用表面安装元件的 PCB 板上元件布局要密集很多，体积也小很多。此外，应用表面安装技术的封装元件也比通孔安装元件要便宜一些，所以目前的 PCB 设计广泛采用了表面安装元件。

常用元件封装分类如下：

- BGA（Ball Grid Array）：球栅阵列封装。因其封装材料和尺寸的不同还细分成不同的 BGA 封装，如陶瓷球栅阵列封装 CBGA、小型球栅阵列封装 μBGA 等。
- PGA（Pin Grid Array）：插针栅格阵列封装。这种技术封装的芯片内外有多个方阵形的插针，每个方阵形插针沿芯片的四周间隔一定距离排列，根据引脚数目的多少，可以围成 2～5 圈。安装时，将芯片插入专门的 PGA 插座。该技术一般用于插拔操作比较频繁的场合，如计算机的 CPU。
- QFP（Quad Flat Package）：方形扁平封装，是当前芯片使用较多的一种封装形式。
- PLCC（Plastic Leaded Chip Carrier）：塑料引线芯片载体。
- DIP（Dual In-line Package）：双列直插封装。
- SIP（Single In-line Package）：单列直插封装。
- SOP（Small Out-line Package）：小外形封装。
- SOJ（Small Out-line J-Leaded Package）：J 形引脚小外形封装。
- CSP（Chip Scale Package）：芯片级封装，这是一种较新的封装形式，常用于内存条。在 CSP 方式中，芯片是通过一个个锡球焊接在 PCB 板上，由于焊点和 PCB 板的接触面积较大，所以内存芯片在运行中所产生的热量可以很容易地传导到 PCB 板上并散发出去。另外，CSP 封装芯片采用中心引脚形式，有效地缩短了信号的传输距离，其衰减随之减少，芯片的抗干扰、抗噪性能也能得到大幅提升。
- Flip-Chip：倒装焊芯片，也称为覆晶式组装技术，是一种将 IC 与基板相互连接的

先进封装技术。在封装过程中，IC 会被翻转过来，让 IC 上面的焊点与基板的接合点相互连接。由于成本与制造因素，使用 Flip-Chip 接合的产品通常根据 I/O 数多少分为两种形式，即低 I/O 数的 FCOB（Flip Chip on Board）封装和高 I/O 数的 FCIP（Flip Chip in Package）封装。Flip-Chip 技术应用的基板包括陶瓷、硅芯片、高分子基层板及玻璃等，其应用范围包括计算机、PCMCIA 卡、军事设备、个人通信产品、钟表及液晶显示器等。

- COB（Chip on Board）：板上芯片封装，即芯片被绑定在 PCB 板上。这是一种现在比较流行的生产方式。COB 模块的生产成本比 SMT 低，还可以减小封装体积。

### 11.2.3 PCB 库编辑器

进入 PCB 库文件编辑环境的操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“文件”→“New（新建）”→“Library（元件库）”→“PCB 元件库”菜单命令，打开 PCB 库编辑环境，新建一个空白 PCB 库文件“PcbLib1.PcbLib”。

Step2 保存并更改该 PCB 库文件名称，这里改名为“NewPcbLib.PcbLib”。可以看到，在“Project”（工程）面板的 PCB 库文件管理夹中出现了所需要的 PCB 库文件，双击该文件即可进入 PCB 库编辑器，如图 11-18 所示。

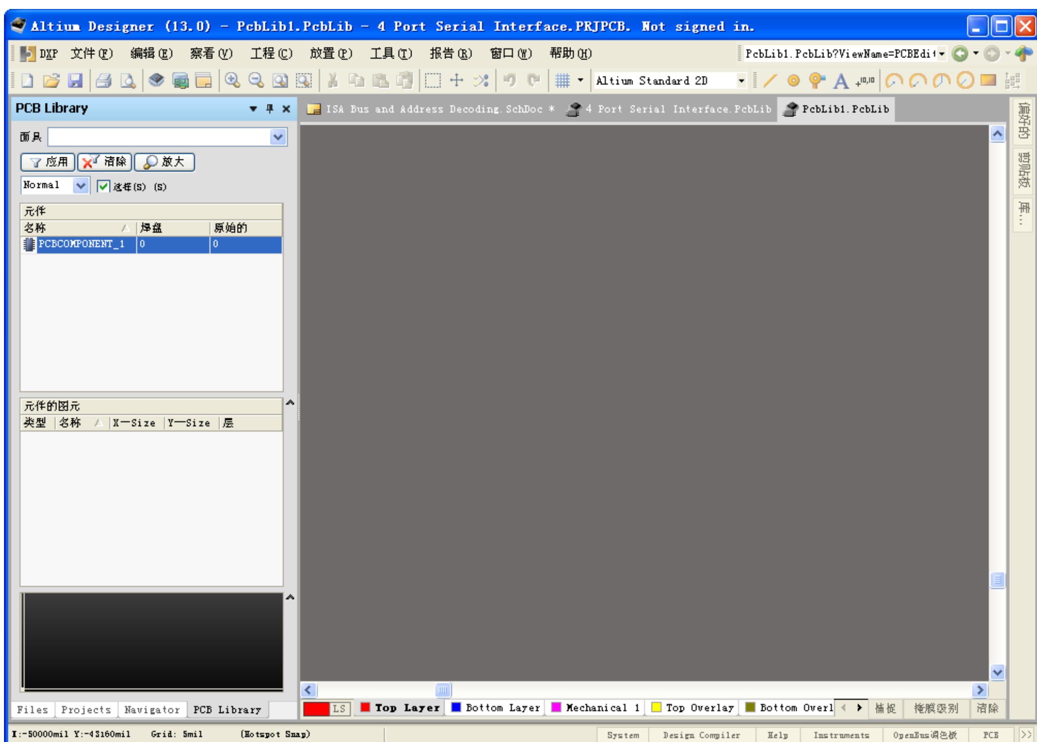



图 11-18 PCB 库编辑器

PCB 库编辑器的设置和 PCB 编辑器基本相同，只是菜单栏中少了“设计”和“自动布线”命令。工具栏中也少了相应的工具按钮。另外，在这两个编辑器中，可用的控制面板也有所

不同。在PCB库编辑器中独有的“PCB Library（PCB元件库）”面板，提供了对封装库内元件封装统一编辑、管理的界面。

“PCB Library（PCB元件库）”面板如图11-19所示，分为“面具”、“元件”、“元件的图元”和“缩略图显示框”4个区域。

“面具”对该库文件内的所有元件封装进行查询，并根据屏蔽框中的内容将符合条件的元件封装列出。

“元件”列出该库文件中所有符合屏蔽栏设定条件的元件封装名称，并注明其焊盘数、图元数等基本属性。单击元件列表中的元件封装名，工作区将显示该封装，并弹出如图11-20所示的“PCB库元件”对话框，在该对话框中可以修改元件封装的名称和高度。高度是供PCB 3D显示时使用的。

在元件列表中右击，弹出的右键快捷菜单如图11-21所示。通过该菜单可以进行元件库的各种编辑操作。

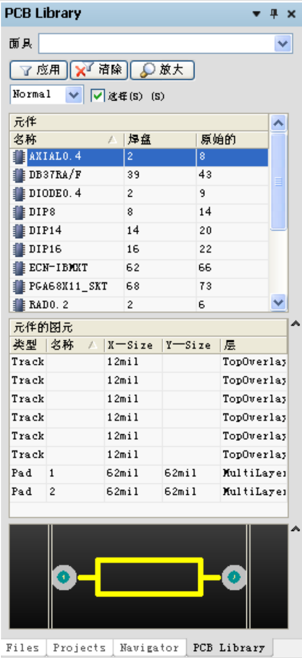



图11-19 “PCB Library”面板

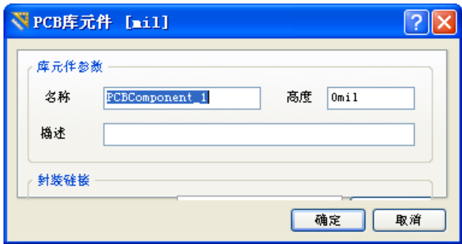



图11-20 “PCB库元件”对话框




图11-21 右键快捷菜单

## 11.2.4 PCB库编辑器环境设置

进入PCB库编辑器后，需要根据要绘制的元件封装类型对编辑器环境进行相应的设置。PCB库编辑环境设置包括：

（1）“器件库选项”设置：单击菜单栏中的“工具”→“器件库选项”命令，或者在工作区右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“器件库选项”命令，系统将弹出如图11-22所示的“板选项”对话框。在其中可以设置各选项的功能。




图 11-22 “板选项”对话框

（2）“板层颜色”设置：单击菜单栏中的“工具”→“板层颜色”命令，或者在工作区右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“选项”→“板层颜色””命令，系统将弹出如图 11-23 所示的“视图配置”对话框。

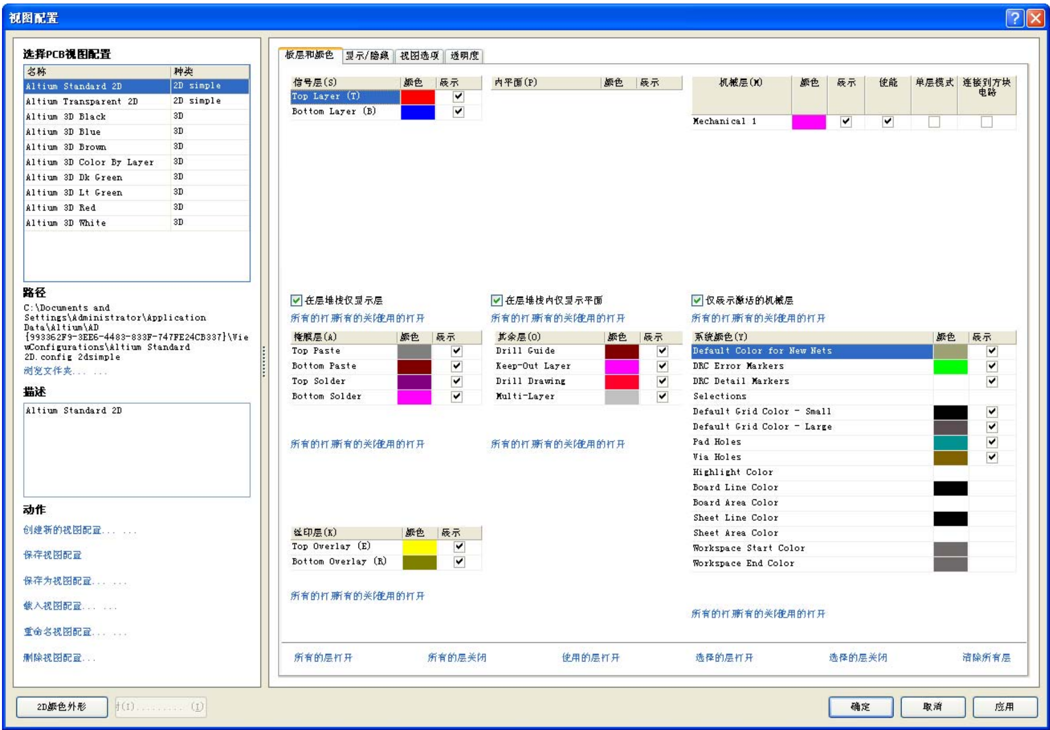



图 11-23 “视图配置”对话框

在机械层中勾选 Mechanical 1 的“连接到方块电路”复选框。在系统颜色栏中，勾选 Visible Grid 1 后的“显示”复选框，其他选项保持默认设置。单击“确定”按钮，关闭该

对话框，完成“视图配置”对话框的设置。

（3）“Layer Stack Manager（层栈管理）”设置：单击菜单栏中的“工具”→“ 层叠管理”命令，或者在工作区右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“选项”→“层叠管理”命令，系统将弹出如图 11-24 所示的“层堆栈管理器”对话框。保持系统默认设置，单击“确定”按钮，关闭该对话框

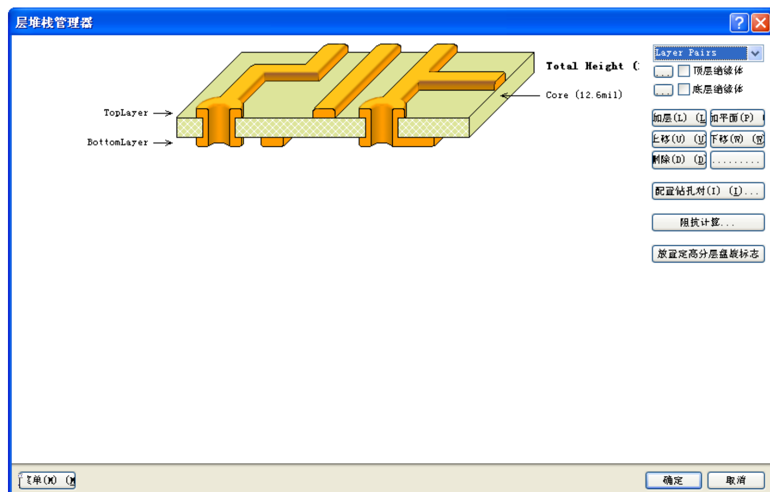



图 11-24 “层堆栈管理器”对话框

（4）“优先选项”设置：单击菜单栏中的“工具”→“优先选项”命令，或者在工作区右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“选项”→“优先选项”命令，系统将弹出如图 11-25 所示的“参数选择”对话框。设置完毕单击“确定”按钮，关闭该对话框。

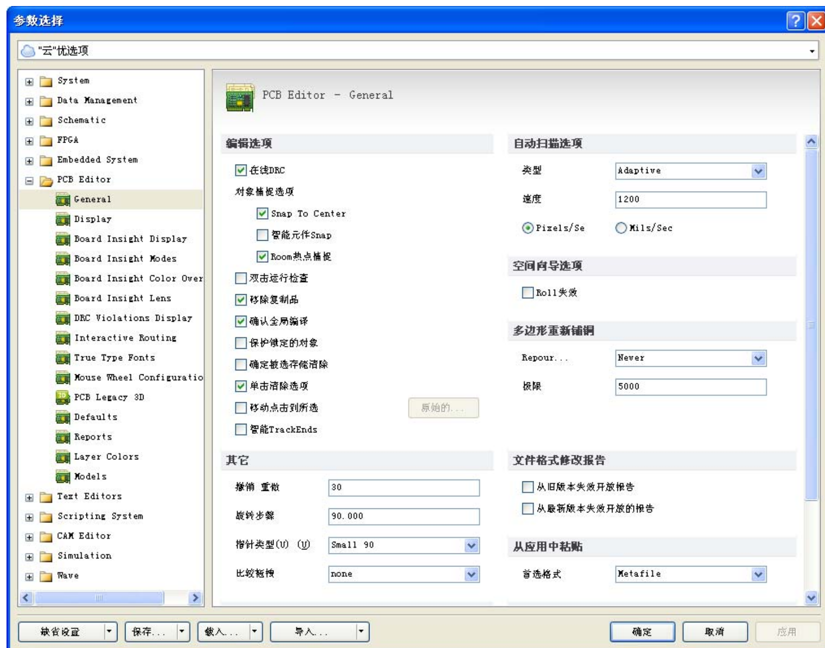



图 11-25 “参数选择”对话框

### 11.2.5　用 PCB 元件向导创建规则的 PCB 元件封装

下面用 PCB 元件向导来创建规则的 PCB 元件封装。由用户在一系列对话框中输入参数，根据这些参数自动创建元件封装。

这里要创建的封装尺寸信息为：外形轮廓为矩形 10mm×10mm，引脚数为 16×4，引脚宽度为 0.22mm，引脚长度为 1mm，引脚间距为 0.5mm，引脚外围轮廓为 12mm×12mm。具体的操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“工具”→“元器件向导”命令，系统将弹出如图 11-26 所示的“Component Wizard（元件向导）”对话框。

Step2 单击“下一步”按钮，进入元件封装模式选择界面。在模式类表中列出了各种封装模式，如图 11-27 所示。这里选择 Quad Packs（QUAD）封装模式，在“Select a unit（选择单位）”下拉列表框中，选择公制单位“Metric（mm）”。

Step3 单击“下一步”按钮，进入焊盘尺寸设定界面。在这里设置焊盘的长为 1mm、宽为 0.22mm，如图 11-28 所示。

Step4 单击“下一步”按钮，进入焊盘形状设定界面，如图 11-29 所示。在这里使用默认设置，第一脚为圆形，其余脚为方形，以便于区分。

Step5 单击“下一步”按钮，进入轮廓宽度设置界面，如图 11-30 所示。这里使用默认设置 0.2mm。

Step6 单击“下一步”按钮，进入焊盘间距设置界面。在这里将焊盘间距设置为 0.5mm，根据计算，将行、列间距均设置为 1.75mm，如图 11-31 所示。

Step7 单击“下一步”按钮，进入焊盘起始位置和命名方向设置界面，如图 11-32 所示。单击单选框可以确定焊盘起始位置，单击箭头可以改变焊盘命名方向。采用默认设置，将第一个焊盘设置在封装左上角，命名方向为逆时针方向。

Step8 单击“下一步”按钮，进入焊盘数目设置界面。将 X、Y 方向的焊盘数目均设置为 16，如图 11-33 所示。

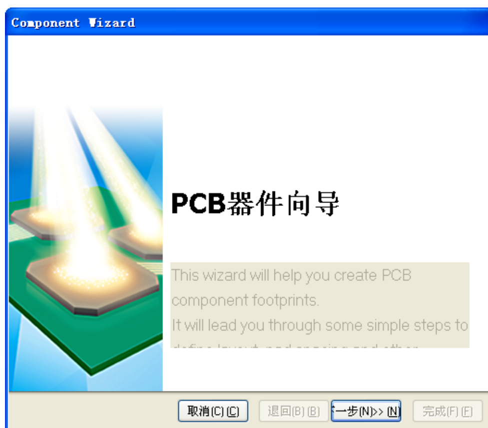



图 11-26　“Component Wizard”对话框

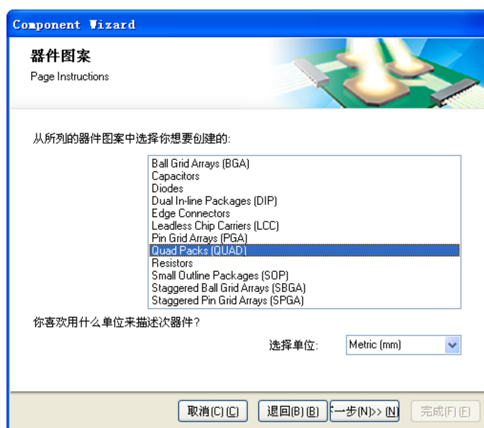



图 11-27　元件封装模式选择界面

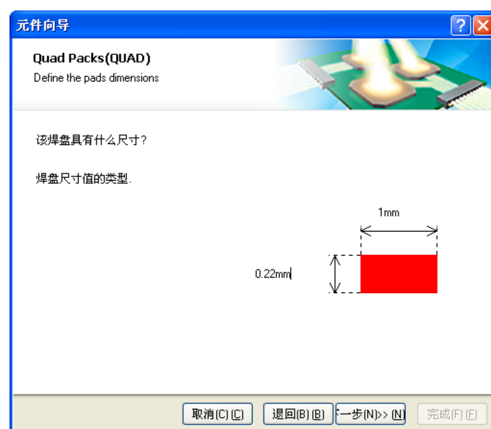



图 11-28　焊盘尺寸设定界面




图 11-29　焊盘形状设定界面




图 11-30　轮廓宽度设置界面

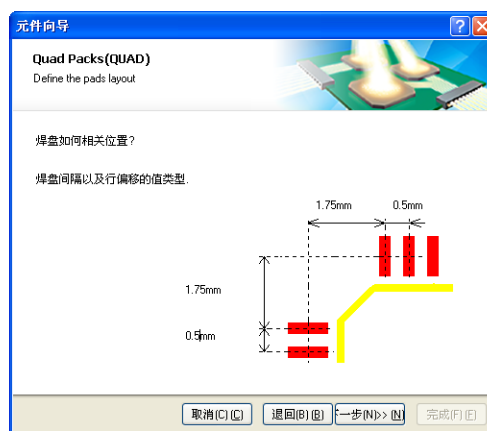



图 11-31　焊盘间距设置界




图 11-32　焊盘起始位置和命名方向设置界面

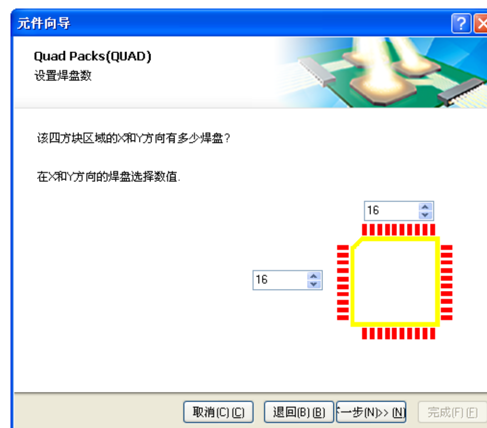



图 11-33　焊盘数目设置界面

Step9 单击“下一步”按钮，进入封装命名界面。将封装命名为“TQFP64”，如图 11-34 所示。

Step10 单击“下一步”按钮，进入封装制作完成界面，如图 11-35 所示。单击“完成”按钮，退出封装向导。




图 11-34 封装命名界面




图 11-35 封装制作完成界面

至此，TQFP64 的封装就制作完成了，工作区内显示的封装图形如图 11-36 所示。

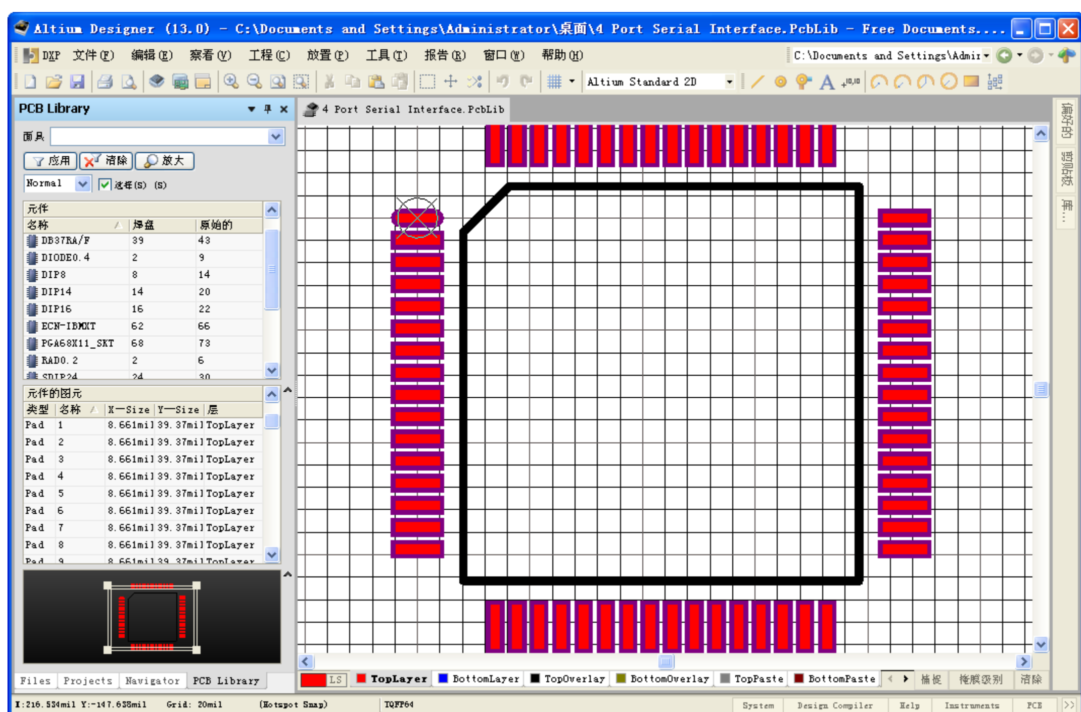



图 11-36 TQFP64 的封装图形

### 11.2.6 手动创建不规则的 PCB 元件封装

由于某些电子元件的引脚非常特殊，或者设计人员使用了一个最新的电子元件，用 PCB 元件向导往往无法创建新的元件封装。这时，可以根据该元件的实际参数手动创建引脚封装。手动创建元件引脚封装，需要用直线或曲线来表示元件的外形轮廓，然后添加焊盘来形成引脚连接。元件封装的参数可以放置在 PCB 板的任意工作层上，但元件的轮廓只能放置在顶层丝印层上，焊盘只能放在信号层上。当在 PCB 板上放置元件时，元件引脚封装的各个部分将分别放置到预先定义的图层上。

下面详细介绍手动创建 PCB 元件封装的操作步骤。

Step1 创建新的空元件文档。打开 PCB 元件库 NewPcbLib.PcbLib，单击菜单栏中的"工具"→"新的空元件"命令，这时在"PCB Library（PCB 元件库）"面板的元件封装列表中会出现一个新的 PCBCOMPONENT_1 空文件。双击该文件，在弹出的对话框中将元件名称改为"New-NPN"，如图 11-37 所示。

Step2 设置工作环境。单击菜单栏中的"工具"→"器件库选项"命令，或者在工作区右击，在弹出的右键快捷菜单中单击"选项"→"器件库选项"命令，系统弹出"板选项"对话框。按图 11-38 设置相关参数，单击"OK（确定）"按钮，关闭该对话框，完成"板选项"对话框的设置。

Step3 放置焊盘。在"Top-Layer（顶层）"，单击菜单栏中的"放置"→"焊盘"命令，光标箭头上悬浮一个十字光标和一个焊盘，单击确定焊盘的位置。按照同样的方法放置另外两个焊盘。

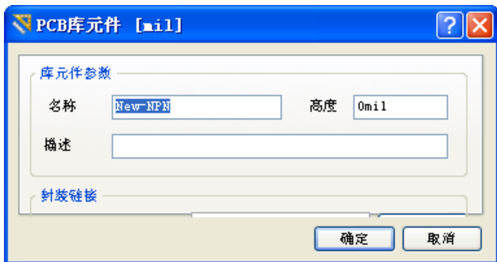



图 11-37 重新命名元件




图 11-38 "板选项"对话框

Step4 设置焊盘属性。双击焊盘进入焊盘属性设置对话框，如图 11-39 所示。

在"指示"文本框中的引脚名称分别为 b、c、e，3 个焊盘的坐标分别为 b（0，100）、c（-100，0）、e（100，0），设置完毕后的焊盘如图 11-40 所示。

焊盘放置完毕后，需要绘制元件的轮廓线。所谓元件轮廓线，就是该元件封装在电路板上占用的空间尺寸。轮廓线的线状和大小取决于实际元件的形状和大小，通常需要测量实际

元件。




图 11-39　设置焊盘属性

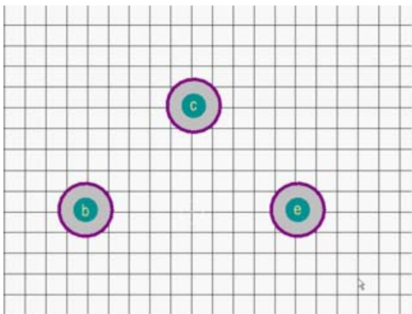



图 11-40　设置完毕后的焊盘

Step5 绘制一段直线。单击工作区窗口下方标签栏中的“Top Overlay（顶层覆盖）”选项，将活动层设置为顶层丝印层。单击菜单栏中的“放置”→“走线”命令，光标变为十字形状，单击确定直线的起点，移动光标拉出一条直线，用光标将直线拉到合适位置，单击确定直线终点。右击或者按 Esc 键退出该操作，结果如图 11-41 所示。

Step6 绘制一条弧线。单击菜单栏中的“放置”→“圆弧（中心）”命令，光标变为十字形状，将光标移至坐标原点，单击确定弧线的圆心，然后将光标移至直线的任意一个端点，单击确定圆弧的直径。再在直线两个端点单击确定该弧线，结果如图 11-42 所示。右击或者按 Esc 键退出该操作。

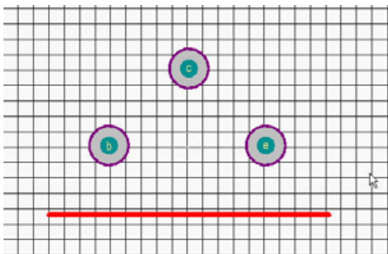



图 11-41　绘制一段直线

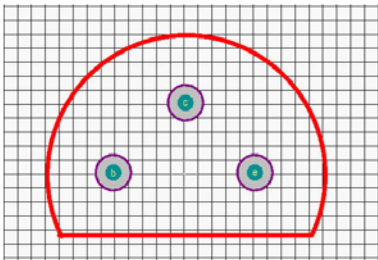



图 11-42　绘制一条弧线

Step7 设置元件参考点。在“编辑””菜单的“设置参考”子菜单中有 3 个命令，即“1 脚”、“中心”和“定位”。读者可以自己选择合适的元件参考点。

至此，手动创建的 PCB 元件封装就制作完成了。我们看到，在“PCB Library（PCB 元件库）”面板的元件列表中多出了一个 NEW-NPN 的元件封装，而且在该面板中还列出了该元件封装的详细信息。

## 11.3 元件封装检查和元件封装库报表

在“Report”（报表）菜单中提供了多种生成元件封装和元件库封装的报表的功能，通过报表可以了解某个元件封装的信息，对元件封装进行自动检查，也可以了解整个元件库的信息。此外，为了检查绘制的封装，菜单中提供了测量功能。

（1）元件封装中的测量：为了检查元件封装绘制是否正确，在封装设计系统中提供了 PCB 设计中一样的测量功能。对元件封装的测量和在 PCB 上的测量相同，这里不再赘述。

（2）元件封装信息报表：在“PCB Library（PCB 元件库）”面板的元件封装列表中选择一个元件，单击菜单栏中的“报告”→“Component（元件）”命令，系统将自动生成该元件符号的信息报表，工作窗口中将自动打开生成的报表，以便用户马上查看。如图 11-43 所示为查看元件封装信息时的界面。

在图 11-43 中给出了元件名称、所在的元件库、创建日期和时间，以及元件封装中的各个组成部分的详细信息。

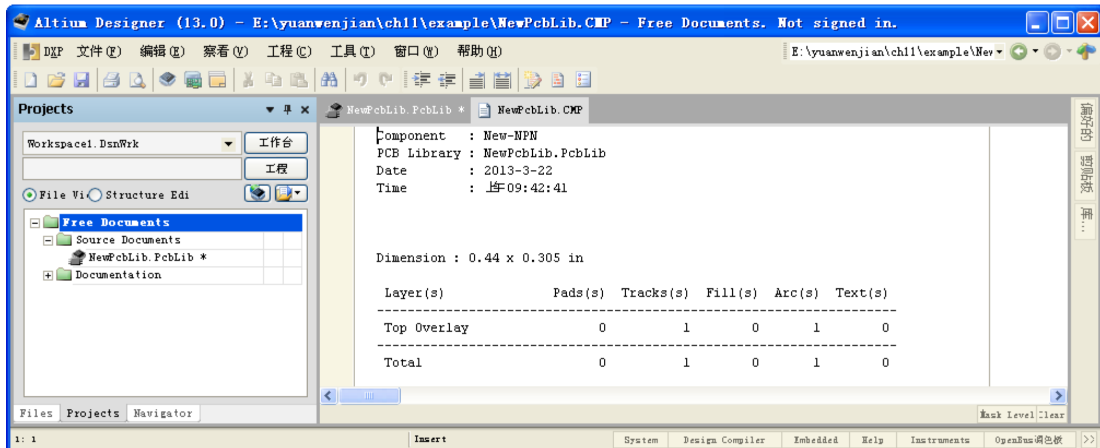



图 11-43 查看元件封装信息时的界面

（3）元件封装错误信息报表：Altium Designer 13 提供了元件封装错误的自动检测功能。单击菜单栏中的“报告”→“元件规则检测”命令，系统将弹出如图 11-44 所示的“元件规则检测”对话框，在该对话框中可以设置元件符号错误的检测规则。

各选项的功能如下：

1）“副本”选项组。

● “焊盘”复选框：用于检查元件封装中是否有重名的焊盘。

● “原始的”复选框：用于检查元件封装中是否有重名的边框。

● “封装”复选框：用于检查元件封装库中是否有重名的封装。

2）“约束”选项组。

● “丢失焊盘名”复选框：用于检查元件封装中是否缺少焊盘名称。

● “镜像的元件”复选框：用于检查元件封装库中是否有镜像的元件封装。

● “元件参考点偏移量”复选框：用于检查元件封装中元件参考点是否偏离元件实体。

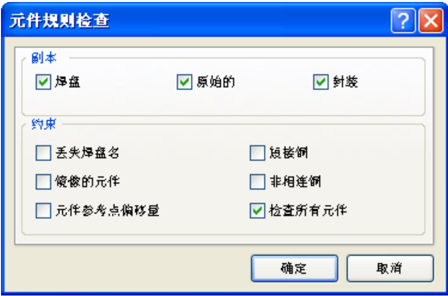



图 11-44　“元件规则检测”对话框

● “短接铜”复选框：用于检查元件封装中是否存在导线短路。

● “非相连铜”复选框：用于检查元件封装中是否存在未连接铜箔。

● “检查所有元件”复选框：用于确定是否检查元件封装库中的所有封装。

保持默认设置，单击“确定”按钮，系统自动生成元件符号错误信息报表。

（4）元件封装库信息报表：单击菜单栏中的“报告”→“库报告”命令，系统将生成元件封装库信息报表。这里对创建的 NewPcbLib.PcbLib 元件封装库进行分析，如图 11-45 所示。在该报表中，列出了封装库所有的封装名称和对它们的命名。

## Protel PCB Library Report

| | |
|---|---|
| Library File Name | E:\yuanwenjian\ch11\example\NewPcbLib.PcbLib |
| Library File Date/Time | 2009Äê4ÔÂ19ÈÕ ÏÂÎç 02:21:24 |
| Library File Size | 39936 |
| Number of Components | 2 |
| Component List | New-NPN, TQFP64 |

| | |
|---|---|
| Library Reference | New-NPN |
| Description | |
| Height | 0mil |
| Dimension | 440.813mil x 305.407mil |
| Number of Pads | 3 |
| Number of Primitives | 5 |

| | |
|---|---|
| Library Reference | TQFP64 |
| Description | |
| Height | 0mil |
| Dimension | 480.44mil x 480.44mil |
| Number of Pads | 64 |
| Number of Primitives | 69 |

图 11-45　元件封装库信息报表

# 11.4 实例——创建 USB 采集系统项目元件库

## 11.4.1 创建原理图项目元件库

大多数情况下，在同一个项目的电路原理图中，所用到的元件由于性能、类型等诸多特性不同，可能来自于不同的库文件。在这些库文件中，有系统提供的若干个集成库文件，也有用户自己建立的原理图元件库文件。这样不便于管理，更不便于用户之间进行交流。

基于这一点，可以使用原理图元件库文件编辑器，为自己的项目创建一个独立的原理图元件库，把本项目电路原理图中所用到的元件原理图符号都汇总到该元件库中，脱离其他的库文件而独立存在，这样就为本项目的统一管理提供了方便。

下面以设计项目“USB 采集系统.PrjPcb”为例，介绍为该项目创建原理图元件库的操作步骤。

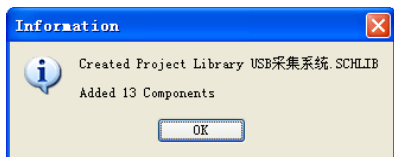



图 11-46 “Information”对话框

Step1 打开项目“USB 采集系统.PrjPcb”中的任一原理图文件，进入电路原理图的编辑环境。这里打开“Cpu.SchDoc”原理图文件。

Step2 单击菜单栏中的“设计”→“生成原理图库”命令，系统自动在本项目中生成了相应的原理图元件库文件，并弹出如图 11-46 所示的“Information（信息）”对话框。在该对话框中，提示用户当前项目的原理图项目元件库“Cpu. SchLib”已经创建完成，共添加了 13 个库元件。

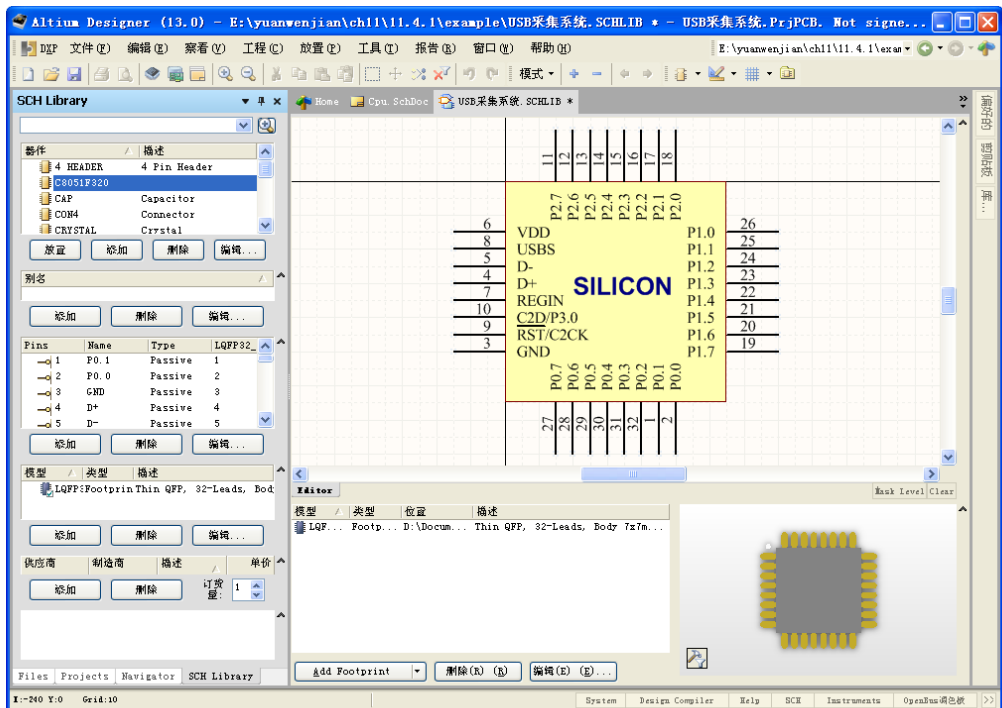



图 11-47 原理图元件库文件编辑环境

Step3 单击“OK（确定）”按钮，关闭该对话框，系统自动切换到原理图元件库文件编辑环境，如图 11-47 所示。在“Projects（工程）”面板的 Source Documents 文件夹中，已经建立了含有 14 个库元件的原理图项目元件库“USB 采集系统.SchLib”。

Step4 打开“SCH Library（SCH 元件库）”面板，在原理图符号名称栏中列出了所创建的原理图项目文件库中的全部库元件，涵盖了本项目电路原理图中所有用到的元件。如果选择了其中一个，则在原理图符号的引脚栏中会相应显示出来该库元件的全部引脚信息，而在模型栏中会显示出该库元件的其他模型。

### 11.4.2 使用项目元件库更新原理图

建立了原理图项目元件库后，可以根据需要，很方便地对该项目电路原理图中所有用到的元件进行整体的编辑、修改，包括元件属性、引脚信息及原理图符号形式等。更重要的是，如果用户在绘制多张不同的原理图时，多次用到同一个元件，而该元件又需要重新修改编辑时，用户不必到原理图中去逐一修改，只需要在原理图项目元件库中修改相应的元件，然后更新原理图即可。

在前面的电路设计项目“USB 采集系统.PrjPcb”中有 4 个子原理图，即“Sensor1.SchDoc”、“Sensor2.SchDoc”、“Sensor3.SchDoc”、“Cpu.SchDoc”，而在前 3 个子原理图的绘制过程中都用到了同一个元件“LM258”（“LF353”的别名）。

现在来修改这 3 个子原理图中元件“LM258”的引脚属性。例如，将输出引脚的电气特性由“Passive（中性）”改为“Output（输出）”，可以通过修改原理图项目元件库中的相应元件“LF353”来完成。具体的操作步骤如下：

Step1 打开项目“USB 采集系统.PrjPcb”，并逐一打开 3 个子原理图“Sensor1.SchDoc”、“Sensor2.SchDoc”和“Sensor3.SchDoc”。3 个子原理图中所用到的元件“LM353”，其输出引脚的电气特性当前都处于“Passive（中性）”状态，如图 11-48 所示为更新前原理图“Sensor3.SchDoc”中的一部分。

Step2 打开该项目下的原理图项目元件库“USB 采集系统.SchLib”。

Step3 打开“SCH Library（SCH 元件库）”面板，在该面板的原理图符号名称栏中，单击元件“LF353”前面的⊞符号，打开该元件，进行相应引脚的编辑。

Step4 将子部件“Part A”中的输出引脚（1 引脚）的电气特性设置为“Output（输出）”，如图 11-49 所示。将子部件“Part B”中的输出引脚（7 引脚）的电气特性也设置为“Output”（输出），并保存“USB 采集系统.SchLib”文件。

Step5 单击菜单栏中的“工具”→“从器件库更新”命令，系统将弹出如图 11-50 所示的“从库中更新”对话框。在“原理图图纸”列表框中选择要更新的原理图，在“Setting（设置）”选项组中对更新参数进行设置，在“元件类型”列表框中选择要更新的元件。

Step6 设置完毕后，单击“下一步”按钮，系统将弹出如图 11-51 所示对话框，进行元件选择。

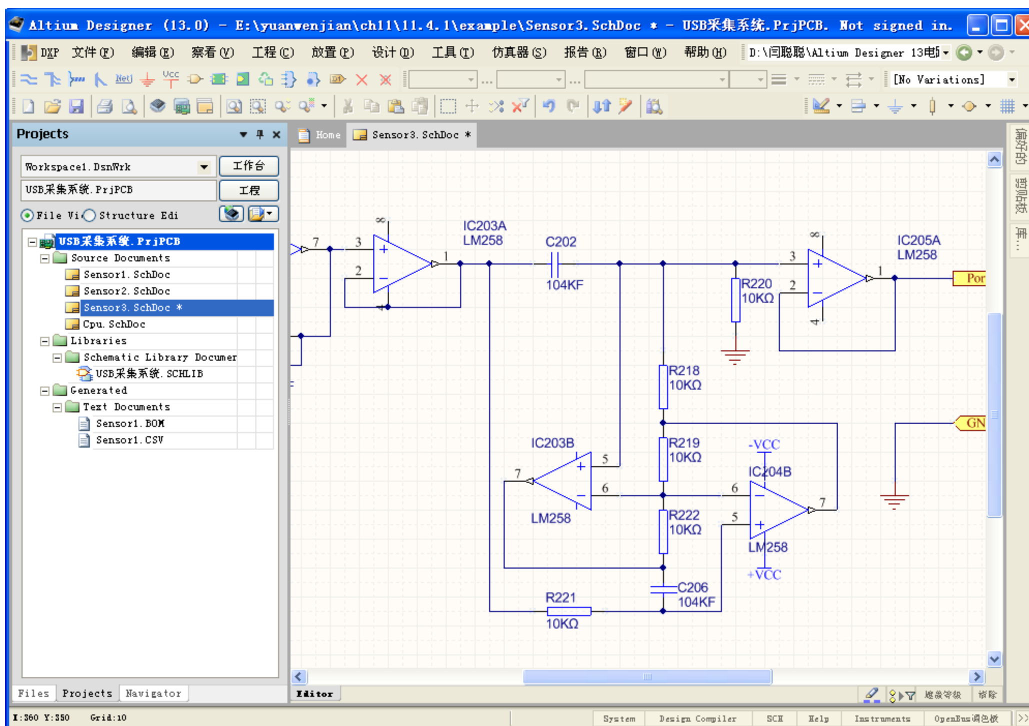


图 11-48 更新前原理图“Sensor3.SchDoc”中的一部分

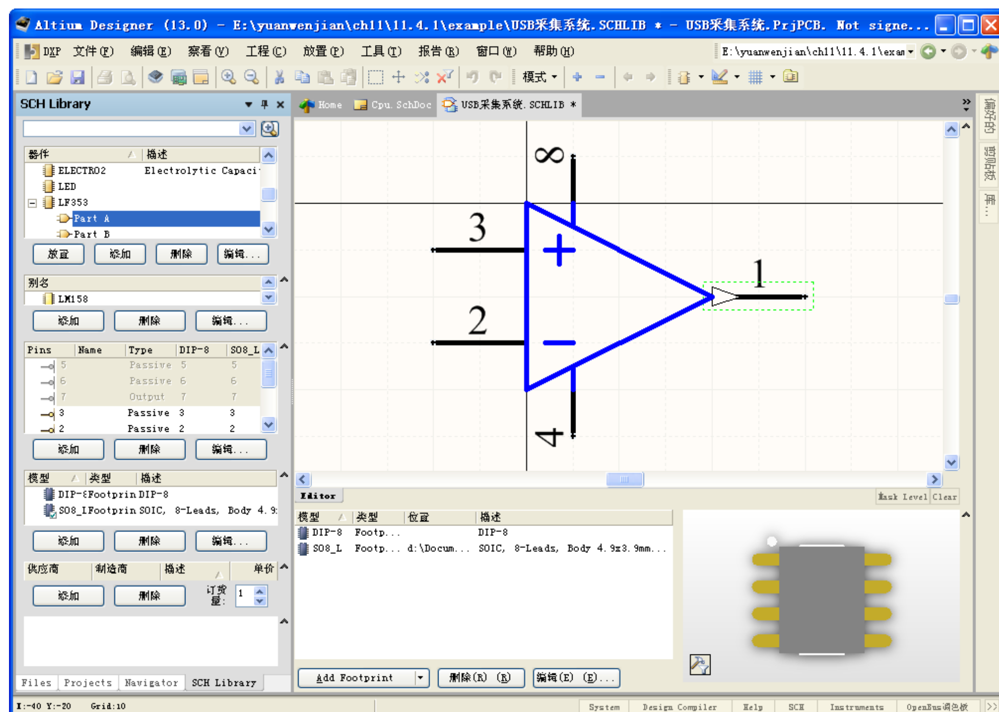


图 11-49 改变输出引脚的电气特性

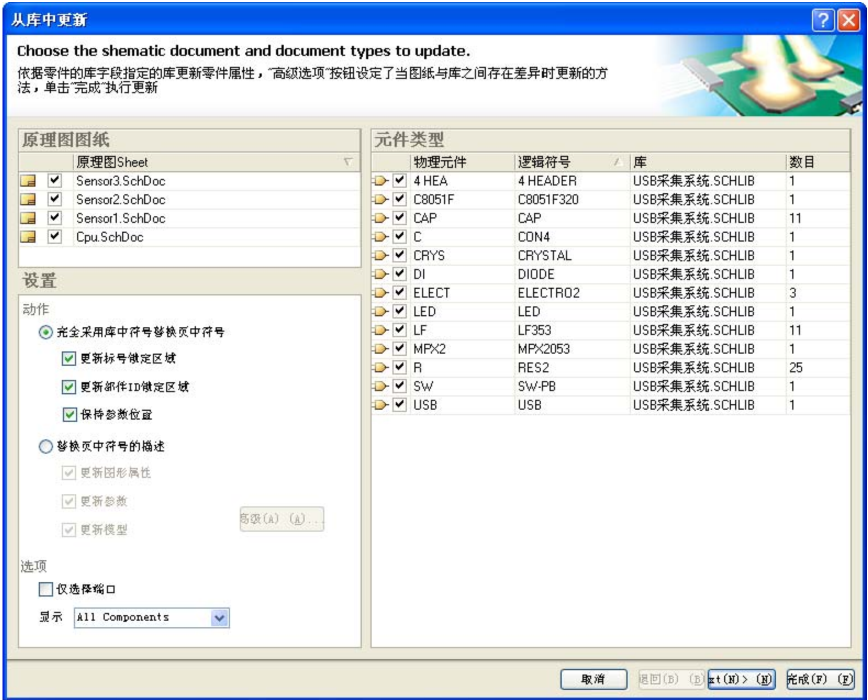



图 11-50　“从库中更新”对话框

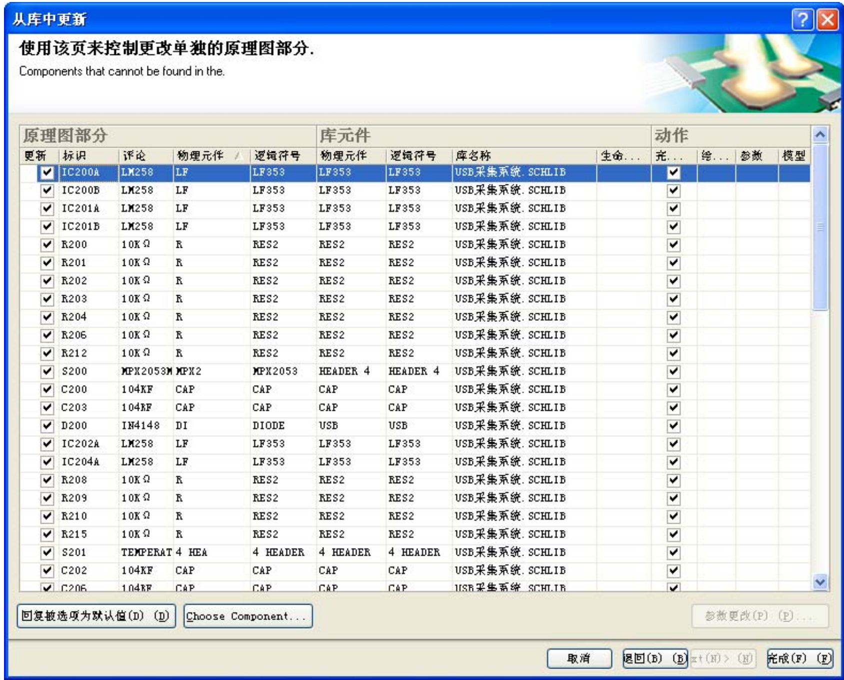



图 11-51　选择元件

Step7　设置完毕后，单击“完成”按钮，系统将弹出如图 11-52 所示的“工程更改顺

序”对话框，其中各按钮的功能如下：

- “生效更改”按钮：单击该按钮，执行更改前验证 ECO（Engineering Change Order）。
- “执行更改”按钮：单击该按钮，应用 ECO 与设计文档同步。
- “报告更改”按钮：单击该按钮，生成关于设计文档更新内容的报表。

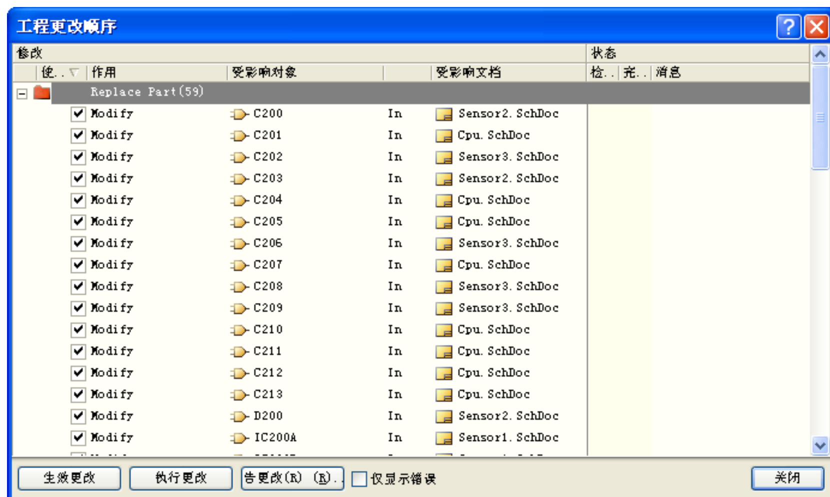



图 11-52　“工程更改顺序”对话框

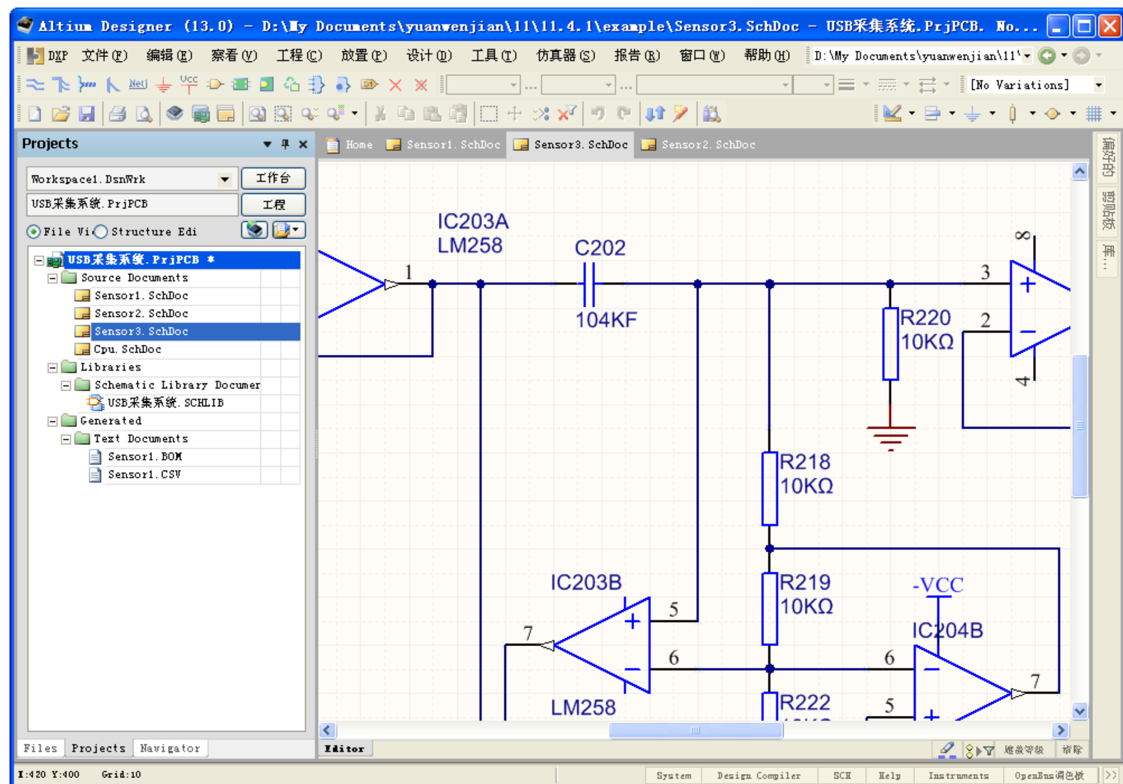



图 11-53　更新后原理图“Sensor3.SchDoc”中的一部分

Step8 单击“执行更改”按钮，执行更新设计文件。单击“关闭”按钮，关闭该对话框。

逐一打开 3 个子原理图，可以看到，原理图中的每一个元件“LM258”，其输出引脚的电器特性都被更新为“Output（输出）”。如图 11-53 所示为更新后原理图“Sensor3.SchDoc”中的一部分。

### 11.4.3 创建项目 PCB 元件封装库

在一个设计项目中，设计文件用到的元件封装往往来自不同的库文件。为了方便设计文件的交流和管理，在设计结束时，可以将该项目中用到的所有元件集中起来，生成基于该项目的 PCB 元件库文件。

我们以 PCB 文件“LED 显示电路.PcbDoc”为例，创建一个集成元件库，如图 11-54 所示。

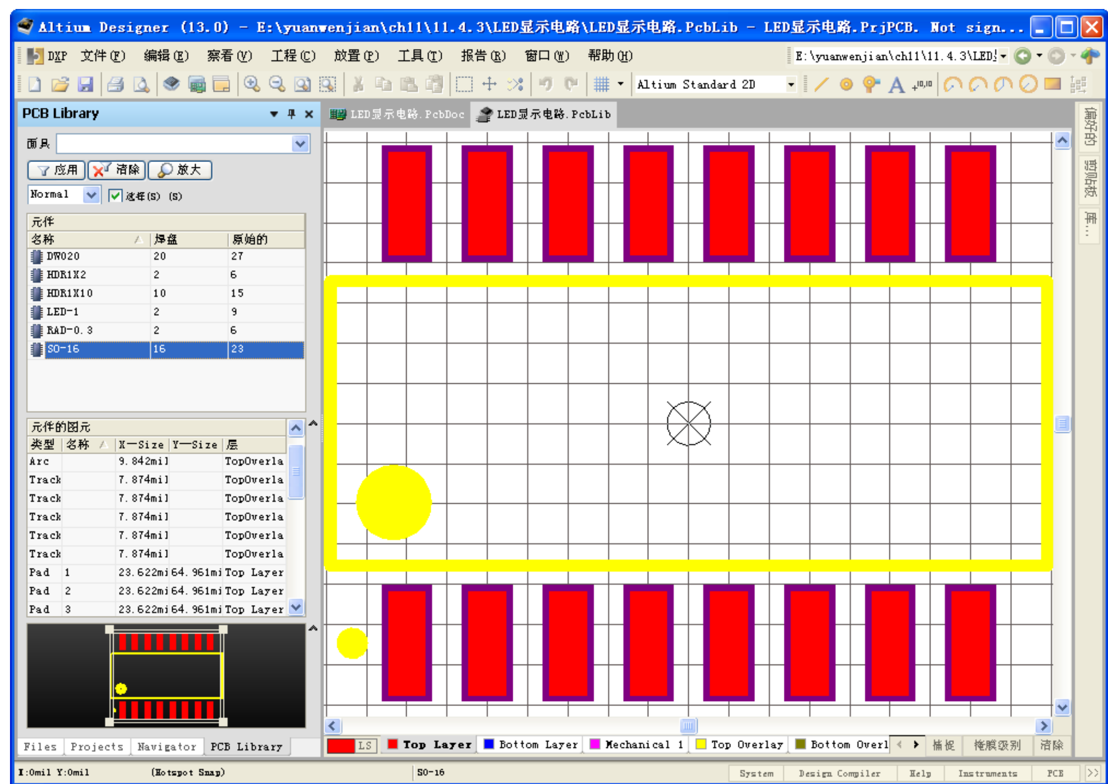



图 11-54 创建一个集成元件库

创建项目的 PCB 元件库简单易行，首先打开已经设计完成的 PCB 文件，进入 PCB 编辑器，单击菜单栏中的“设计”→“生成 PCB 库”命令，系统会自动生成与该设计文件同名的 PCB 库文件。同时新生成的 PCB 库文件会自动打开，并置为当前文件，在“PCB Library（PCB 元件库）”面板中可以看到其元件列表。

### 11.4.4 创建集成元件库

Altium Designer 13 为我们提供了集成形式的库文件，将原理图元件库和与其对应的模型库文件如 PCB 元件封装库、SPICE 和信号完整性模型等集成到一起。通过集成库文件，极大地方便用户设计过程中的各种操作。

下面我们以前面设计的 PCB 文件“PCB_Library.PcbDoc”为例，创建一个集成元件库。我们要用到光盘“源文件\ch_11\example”文件夹中的原理图元件库文件“PCB_Library.SchLib”和 PCB 元件封装库文件“PCB_Library.PcbLib”，新生成的文件也都保存在该路径下（注：在使用光盘中实例文件时，请先将其复制到本地硬盘中）。具体的操作步骤如下：

Step1 单击菜单栏中的“文件”→“New（新建）”→“Project（工程）”→“集成库”命令。创建一个新的集成库文件包项目，并保存为“New_IntLib.LibPkg”。该库文件包项目中目前还没有文件加入，我们需要在该项目中加入原理图元件库和 PCB 元件封装库。

Step2 在“Projects”（工程）面板中，右击“New_IntLib.LibPkg”选项，在弹出的右键快捷菜单中单击“添加现有的文件到工程”命令，系统弹出打开文件对话框。选择路径到前述的文件夹下，打开“PCB_Library.SchLib”。用同样的方法再将“PCB_Library.PcbLib”加入到项目中。

Step3 单击菜单栏中的“工程”→“Compile Integrated Library New_IntLib. LibPkg（编译集成库文件）”命令，编译该集成库文件。编译后的集成库文件“New_IntLib.IntLib”将自动加载到当前库文件中，在元件库面板中可以看到，如图 11-55 所示。

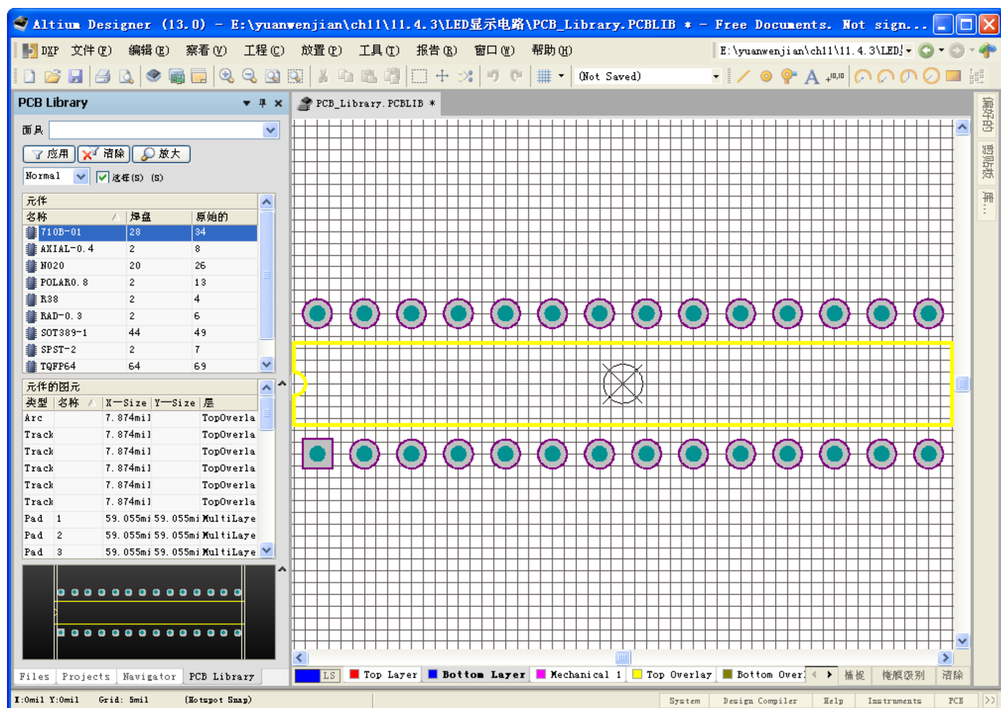



图 11-55 生成集成库并加入到当前库中

Step4 此时，在“Messages（信息）”面板中将显示一些错误和警告的提示，如图 11-56 所示。这表明还有部分原理图文件没有找到匹配的元件封装或信号完整性等模型文件。根据错误提示信息，进行修改。

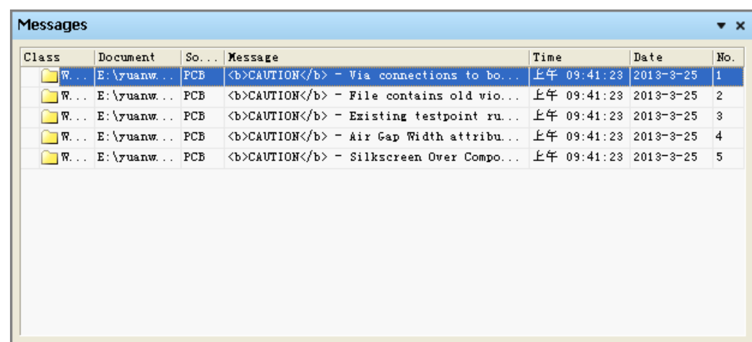



图 11-56 “Messages”（信息）面板

Step5 修改完毕后，单击菜单栏中的“工程”→“Recompile Integrated Library New_IntLib.LibPkg（再次编译集成库文件）”命令，对集成库文件再次编译，以检查是否还有错误信息。

Step6 不断重复上述操作，直至编译无误，这个集成库文件就算制作完成了。

第 12 章

# 电路仿真系统

随着电子技术的飞速发展和新型电子元件的不断涌现，电子电路变得越来越复杂，因此，在进行电路设计时出现缺陷和错误在所难免。为了让设计者在设计电路时能准确地分析电路的工作状况，及时发现其中的设计缺陷并进行改进，Altium Designer 13 提供了一个较为完善的电路仿真组件，可以根据设计的原理图进行电路仿真，并根据输出信号的状态调整电路设计，从而减少不必要的设计失误，提高电路设计的工作效率。

所谓电路仿真，就是用户直接利用 EDA 软件自身所提供的功能和环境，对所设计电路的实际运行情况进行模拟的过程。如果在制作 PCB 之前，能够对原理图进行仿真，明确系统的性能指标并据此对各项参数进行适当地调整，将节省大量的人力和物力。由于整个过程是在计算机上运行，所以操作相当简便，免去了搭建实际电路系统的不便，只需要输入不同的参数，就能得到不同情况下电路系统的性能，而且仿真结果真实、直观，便于用户查看和比较。

知识点

- 电路仿真的基本知识
- 仿真分析的参数设置
- 电路仿真方法

# 12.1 放置电源及仿真激励源

Altium Designer 13 提供了多种电源和仿真激励源，存放在“Simulation Sources.Intlib”集成库中，供用户选择使用。在使用时，均被默认为理想的激励源，即电压源的内阻为零，电流源的内阻为无穷大。

仿真激励源就是仿真时输入到仿真电路中的测试信号，根据观察这些测试信号通过仿真电路后的输出波形，用户可以判断仿真电路中的参数设置是否合理。

常用的电源与仿真激励源有直流电压/电流源、正弦信号激励源、周期脉冲源、分段线性激励源、指数激励源、单频调频激励源。下面以直流电压/电流源为例介绍激励源的设置方法。

直流电压源“VSRC”与直流电流源“ISRC”分别用来为仿真电路提供一个不变的电压信号和电流信号，符号形式如图 12-1 所示。

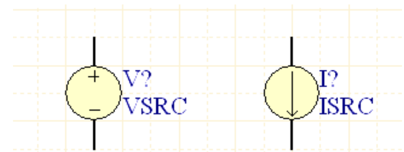



图 12-1 直流电压/电流源

这两种电源通常在仿真电路通电时，或者需要为仿真电路输入一个阶跃激励信号时使用，以便用户观测电路中某一节点的瞬态响应波形。

需要设置的仿真参数是相同的，双击新添加的仿真直流电压源，在弹出的“Properties for Schematic Component in Sheet（电路图中的元件属性）”对话框中设置其属性参数，如图 12-2 所示。

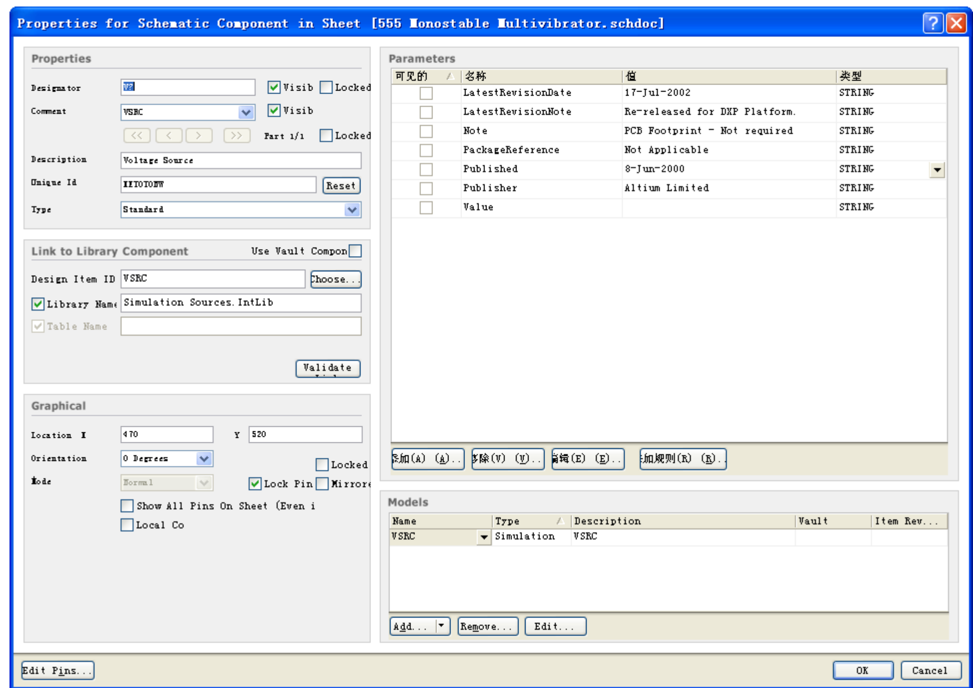



图 12-2 “Properties for Schematic Component in Sheet”对话框

在“Properties for Schematic Component in Sheet（电路图中的元件属性）”对话框中，双击“Type（类型）”栏下的“Simulation（仿真）”选项，系统将弹出如图12-3所示的“Sim Model-Voltage Source/DC Source（仿真模型-电压源/直流源）”对话框。通过该对话框可以查看并修改仿真模型。“Parameters（参数）”选项卡中，各项参数含义如下：

- “Value（值）”：直流电源电压值。
- “AC Magnitude（交流幅度）”：交流小信号分析的电压幅度。
- “AC Phase（交流相位）”：交流小信号分析的相位值。

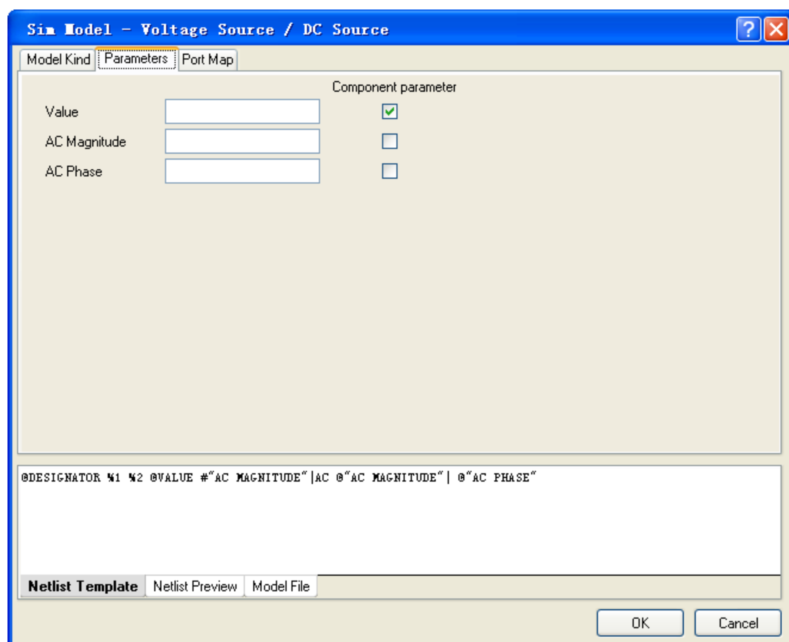



图12-3 “Sim Model-Voltage Source/DC Source”对话框

## 12.2 仿真分析的参数设置

在电路仿真中，选择合适的仿真方式并对相应的参数进行合理的设置，是仿真能够正确运行并获得良好仿真效果的关键保证。

一般来说，仿真方式的设置包含两部分，一是各种仿真方式都需要的通用参数设置，二是具体的仿真方式所需要的特定参数设置，二者缺一不可。

在原理图编辑环境中，单击菜单栏中的“设计”→“仿真”→“Mixed Sim（混合仿真）”命令，系统弹出如图12-4所示的“分析设置”对话框。

在该对话框左侧的“分析/选项”列表框中，列出了若干选项供用户选择，包括各种具体的仿真方式。而对话框的右侧则用来显示与选项相对应的具体设置内容。系统的默认选项为“General Setup（常规设置）”。

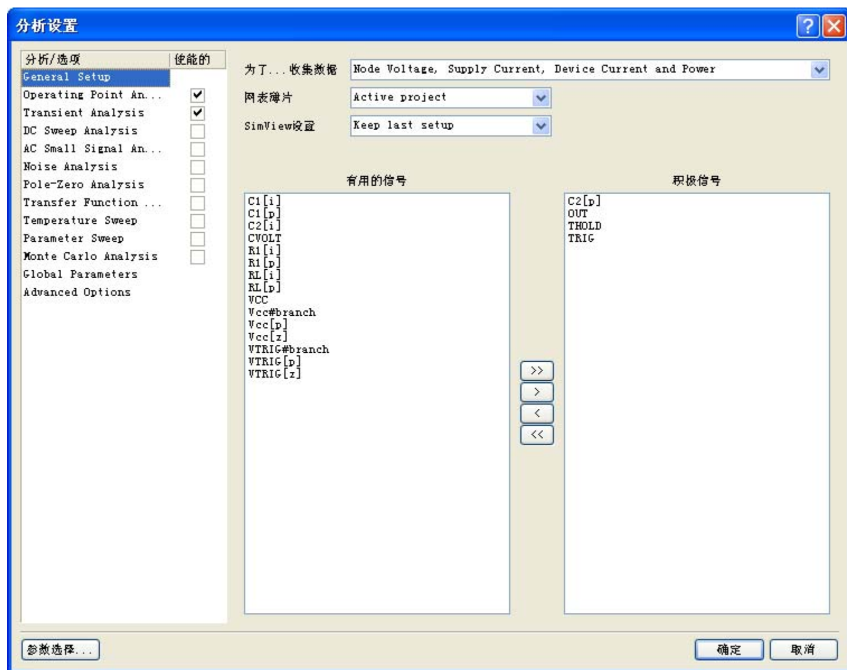



图 12-4 “分析设置”对话框

## 12.2.1 常规参数的设置

（1）“为了收集数据”下拉列表框：用于设置仿真程序需要计算的数据类型，有以下几种：

- Node Voltage（节点电压）：节点电压。
- Supply Current（提供电流）：电源电流。
- Device Current（设置电流）：流过元件的电流。
- Device Power（设置功率）：在元件上消耗的功率。
- Subcircuit VARS（支电路 VARS）：支路端电压与支路电流。
- 积极信号：仅计算“积极信号”列表框中列出的信号。

由于仿真程序在计算上述这些数据时要花费很长的时间，因此在进行电路仿真时，用户应该尽可能少地设置需要计算的数据，只需要观测电路中节点的一些关键信号波形即可。

单击右侧的“为了收集数据”下拉列表框，可以看到系统提供的几种需要计算的数据组合，用户可以根据具体仿真的要求加以选择，系统默认为“Node Voltage,Supply Current,Device Current and Power（节点电压，提供电流，设置电流和功率）”。

一般来说，应设置为“积极信号”，这样一方面可以灵活选择所要观测的信号，另一方面也减少了仿真的计算量，提高了效率。

（2）“网表薄片”下拉列表框：用于设置仿真程序的作用范围，包括以下两个选项：

- Active sheet（积极的原理图）：当前的电路仿真原理图。
- Active project（积极的项目）：当前的整个项目。

（3）“SimView 设置（仿真视图设置）”：下拉列表框：用于设置仿真结果的显示内容。

- “Keep last setup（保持上一次设置）”：按照上一次仿真操作的设置在仿真结果图中显示信号波形，忽略“积极信号”列表框中所列出的信号。
- “Show active signals（显示积极的信号）：按照“积极信号”列表框中所列出的信号，在仿真结果图中进行显示。一般选择该选项。

（4）“有用的信号”：列出了所有可供选择的观测信号，具体内容随着“Collect Data For（收集数据）”列表框：的设置变化而变化，即对于不同的数据组合，可以观测的信号是不同的。

（5）“积极信号”列表框：列出了仿真程序运行结束后，能够立刻在仿真结果图中显示的信号。

在“有用的信号”中选中某一个需要显示的信号后，如选择“IN”，单击>按钮，可以将该信号加入到“积极信号”列表框，以便在仿真结果图中显示；单击<按钮则可以将“积极信号”列表框中某个不需要显示的信号移回“有用的信号”；单击>>按钮，直接将全部可用的信号加入到“积极信号”列表框中；单击<<按钮，则将全部处于激活状态的信号移回“有用的信号”中。

上面讲述的是在仿真运行前需要完成的常规参数设置，而对于用户具体选用的仿真方式，还需要进行一些特定参数的设定。

### 12.2.2 仿真方式

在 Altium Designer 13 系统中提供了 12 种仿真方式：

- Operating Point Analysis：工作点分析。
- Transient Analysis：瞬态特性分析。
- DC Sweep Analysis：直流扫描分析。
- AC Small Signal Analysis：交流小信号分析。
- Noise Analysis：噪声分析。
- Pole-Zero Analysis：零-极点分析。
- Transfer Function Analysis：传输函数分析。
- Temperature Sweep：温度扫描。
- Parameter Sweep：参数扫描。
- Monte Carlo Analysis：蒙特卡罗分析。
- Global Parameters：总体参数设置。
- Advanced Options：高级仿真选项设置。

读者可以进行各种仿真方式的功能特点及参数设置。

# 12.3　特殊仿真元件的参数设置

在仿真过程中，有时还会用到一些专用于仿真的特殊元件，它们存放在系统提供的“Simulation Sourees.IntLib”集成库中，在此只做简单的介绍。

## 12.3.1　节点电压初值

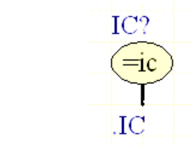



图 12-5　放置“.IC”元件

节点电压初值“.IC”主要用于为电路中的某一节点提供电压初始值，与电容中“Initial Voltage（初始电压）”作用类似。设置方法很简单，只要把该元件放在需要设置电压初值的节点上，通过设置该元件的仿真参数即可为相应的节点提供电压初值。放置的“.IC”元件如图 12-5 所示。

需要设置的“.IC”元件仿真参数只有一个，即节点的电压初始值。双击节点电压初始值元件，系统将弹出如图 12-6 所示的“Properties for Schematic Component in Sheet（电路图中的元件属性）”对话框。

双击“Model（模型）”栏“Type（类型）”列中的“Simulation（仿真）”选项，系统将弹出如图 12-7 所示的对话框来设置“.IC”元件的仿真参数。

在“Parameter（参数）”选项卡中，只有一项仿真参数“Initial Voltage（初始电压）”，用于设定相应节点的电压初值，这里设置为“0V”。设置参数后的“.IC”元件如图 12-8 所示。

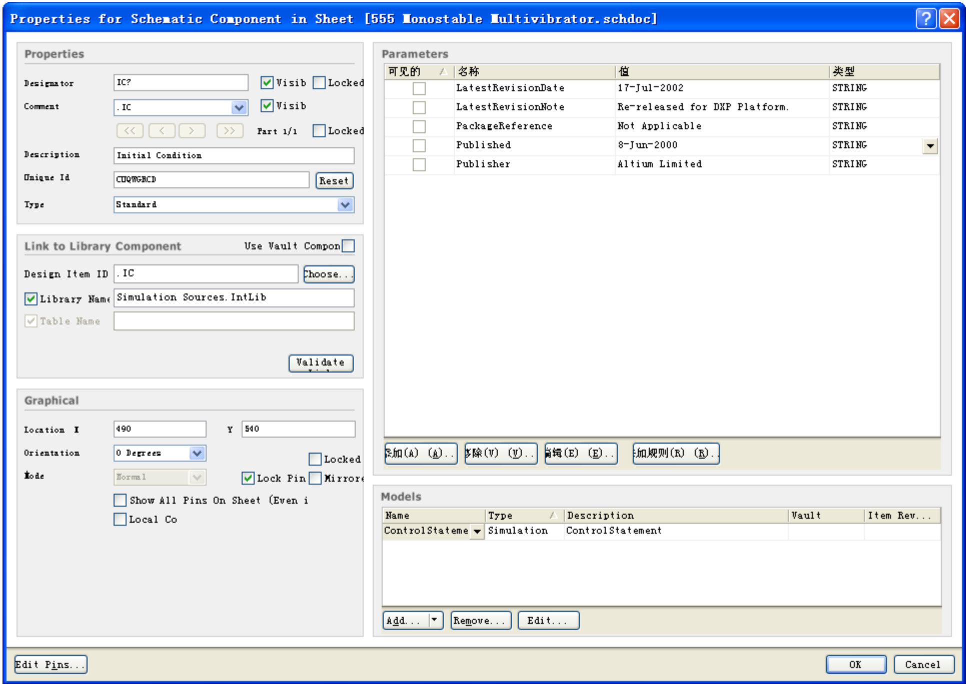



图 12-6　“Properties for Schematic Component in Sheet”对话框

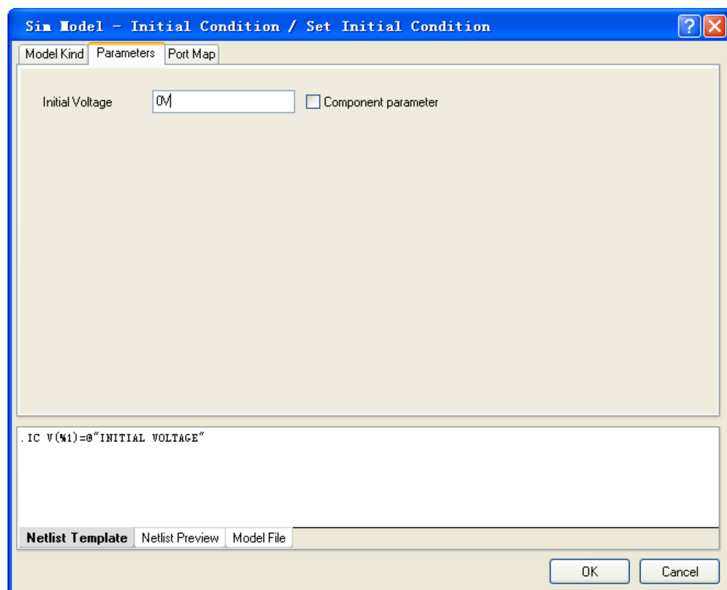



图 12-7　设置“.IC”元件仿真参数

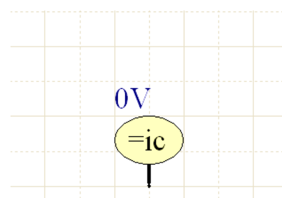



图 12-8　设置参数后的“.IC”元件

使用“.IC”元件为电路中的一些节点设置电压初始值后，用户采用瞬态特性分析的仿真方式时，若勾选了“Use Initial Conditions”（使用初始条件）复选框，则仿真程序将直接使用“.IC”元件所设置的初始值作为瞬态特性分析的初始条件。

当电路中有储能元件（如电容）时，如果在电容两端设置了电压初始值，而同时在与该电容连接的导线上也放置了“.IC”元件，并设置了参数值，那么此时进行瞬态特性分析时，系统将使用电容两端的电压初始值，而不会使用“.IC”元件的设置值，即一般元件的优先级高于“.IC”元件。

## 12.3.2　节点电压

在对双稳态或单稳态电路进行瞬态特性分析时，节点电压“.NS”用来设定某个节点的电压预收敛值。如果仿真程序计算出该节点的电压小于预设的收敛值，则去掉“.NS”元件所设置的收敛值，继续计算，直到算出真正的收敛值为止。即“.NS”元件是求节点电压收敛值的一个辅助手段。

设置方法很简单，只要把该元件放在需要设置电压预收敛值的节点上，通过设置该元件的仿真参数即可为相应的节点设置电压预收敛值。放置的“.NS”元件如图 12-9 所示。

需要设置的“.NS”元件仿真参数只有一个，即节点的电压预收敛值。双击节点电压元件，系统将弹出如图 12-10 所示的对话框来设置“.NS”元件的属性。

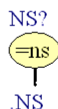



图 12-9 放置的“.NS”元件

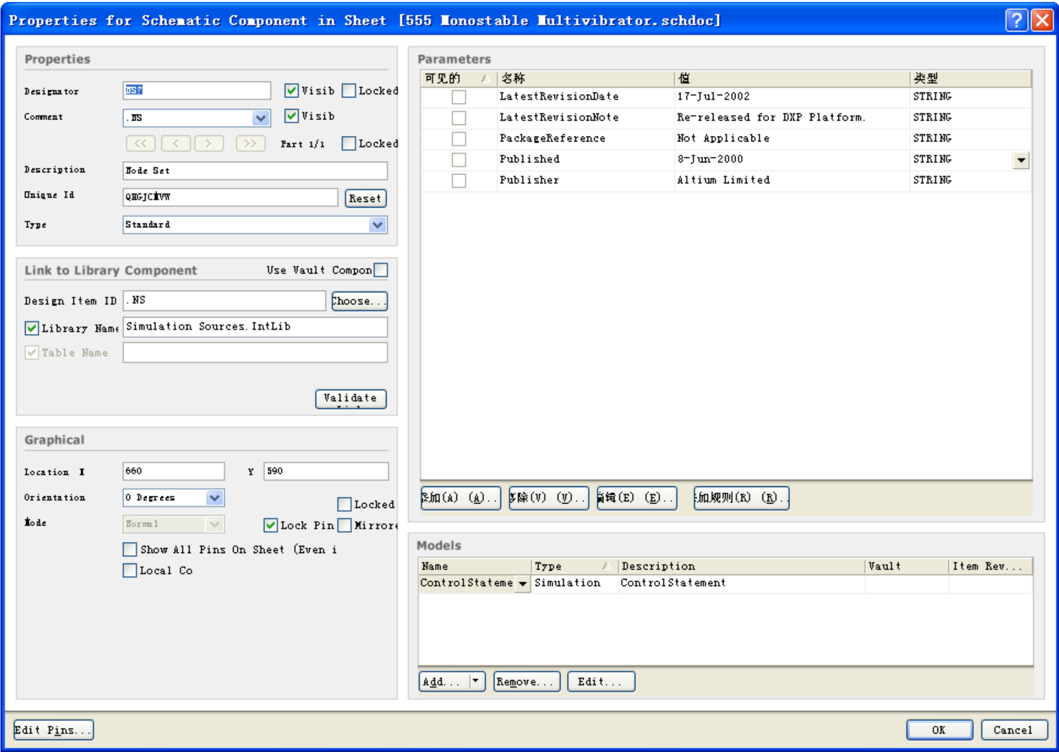



图 12-10　设置“.NS”元件属性

双击“Model（模型）”栏“Type（类型）”列中的“Simulation（仿真）”选项，系统将弹出如图 12-11 所示的对话框来设置“.NS”元件的仿真参数。

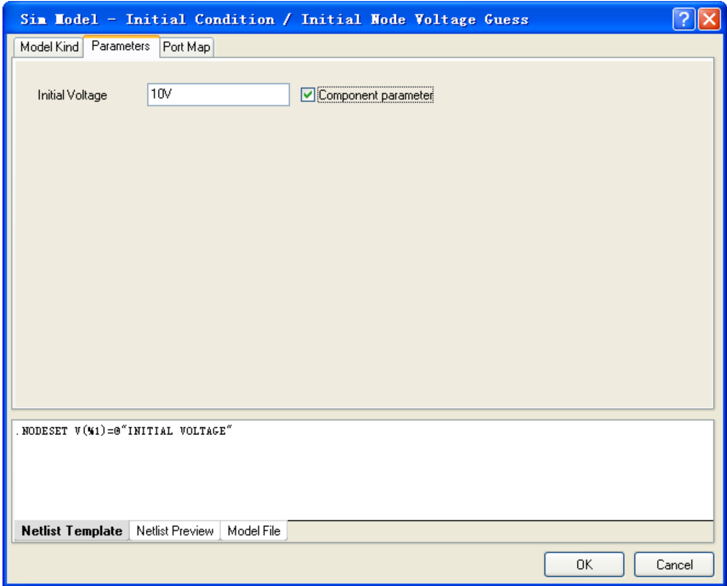



图 12-11　设置“.NS”元件仿真参数

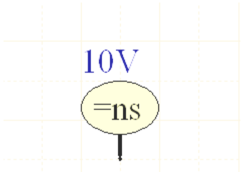



图 12-12　设置参数后的“.NS”元件

在“Parameter（参数）”选项卡中，只有一项仿真参数“Initial Voltage（初始电压）”，用于设定相应节点的电压预收敛值，这里设置为“10V”。设置参数后的“.NS”元件如图 12-12 所示。

若在电路的某一节点处，同时放置了“.IC”元件与“.NS”元件，则仿真时“.IC”元件的设置优先级将高于“.NS”元件。

### 12.3.3 仿真数学函数

在 Altium Designer 13 的仿真器中还提供了若干仿真数学函数，它们同样作为一种特殊的仿真元件，可以放置在电路仿真原理图中使用。主要用于对仿真原理图中的两个节点信号进行各种合成运算，以达到一定的仿真目的，包括节点电压的加、减、乘、除，以及支路电流的加、减、乘、除等运算，也可以用于对一个节点信号进行各种变换，如正弦变换、余弦变换、双曲线变换等。

仿真数学函数存放在“Simulation Math Function. IntLib”仿真库中，只需要把相应的函数功能模块放到仿真原理图中需要进行信号处理的地方即可，仿真参数不需要用户自行设置。

如图 12-13 所示是对两个节点电压信号进行相加运算的仿真数学函数“ADDV”。

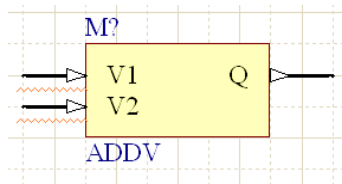


图 12-13 仿真数学函数“ADDV”

### 12.3.4 实例——正弦函数和余弦函数

本例使用相关的仿真数学函数，对某一输入信号进行正弦变换和余弦变换，然后叠加输出。具体的操作步骤如下：

Step1 新建一个原理图文件，另存为“仿真数学函数.SchDoc”。

Step2 在系统提供的集成库中，选择到“Simulation Sourees.IntLib”和“Simulation Math Function. IntLib”，进行加载。

Step3 在“库”面板中，打开集成库“Simulation Math Function.IntLib”，选择正弦变换函数“SINV”、余弦变换函数“COSV”及电压相加函数“ADDV”，将其分别放置到原理图中，如图 12-14 所示。

Step4 在“库”面板中，打开集成库“Miscellaneous Devices.IntLib”，选择元件 Res3，在原理图中放置两个接地电阻，并完成相应的电气连接，如图 12-15 所示。

Step5 双击电阻，系统弹出属性设置对话框，相应的电阻值设置为 1K。

Step6 双击每一个仿真数学函数，进行参数设置，在弹出“Properties for Schematic Component in Sheet（电路图中的元件属性）”对话框中，只需设置标识符，如图 12-16 所示。

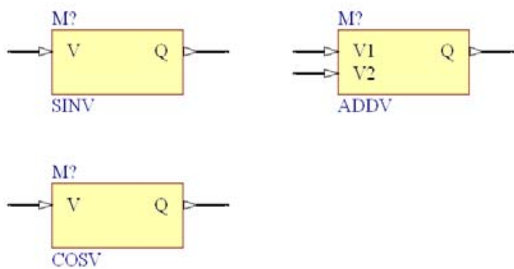



图 12-14　放置数学函数

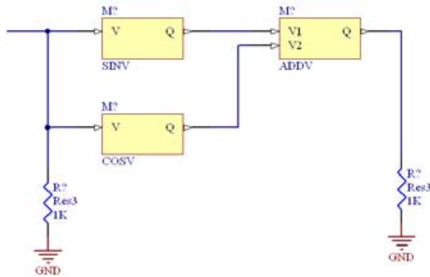



图 12-15　放置接地电阻并连接

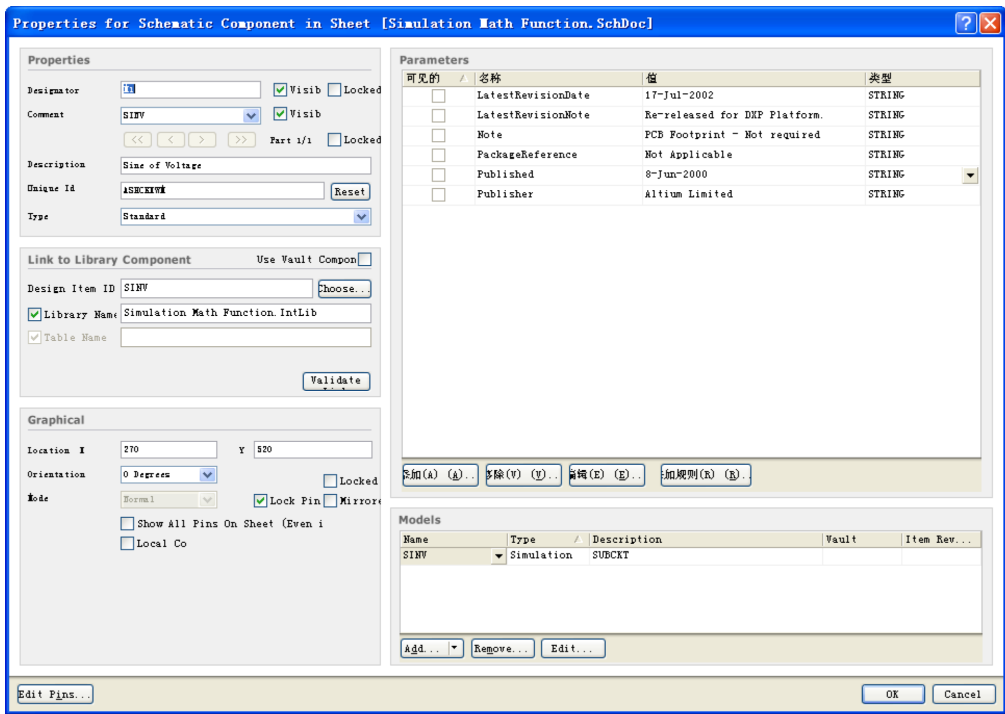



图 12-16　“Properties for Schematic Component in Sheet”对话框

设置好的原理图如图 12-17 所示。

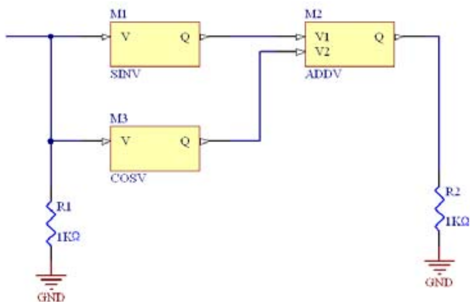



图 12-17　设置好的原理图

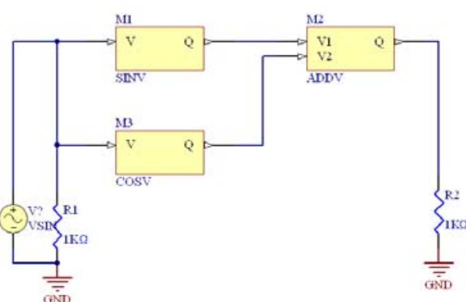



图 12-18　放置正弦电压源并连接

Step7 在“库”面板中，打开集成库“Simulation Sources.IntLib”，找到正弦电压源“VSIN”，放置在仿真原理图中，并进行接地连接，如图 12-18 所示。

Step8 双击正弦电压源，弹出相应的属性对话框，设置其基本参数及仿真参数，如图 12-19 所示。标识符输入为“V1”，其他各项仿真参数均采用系统的默认值。

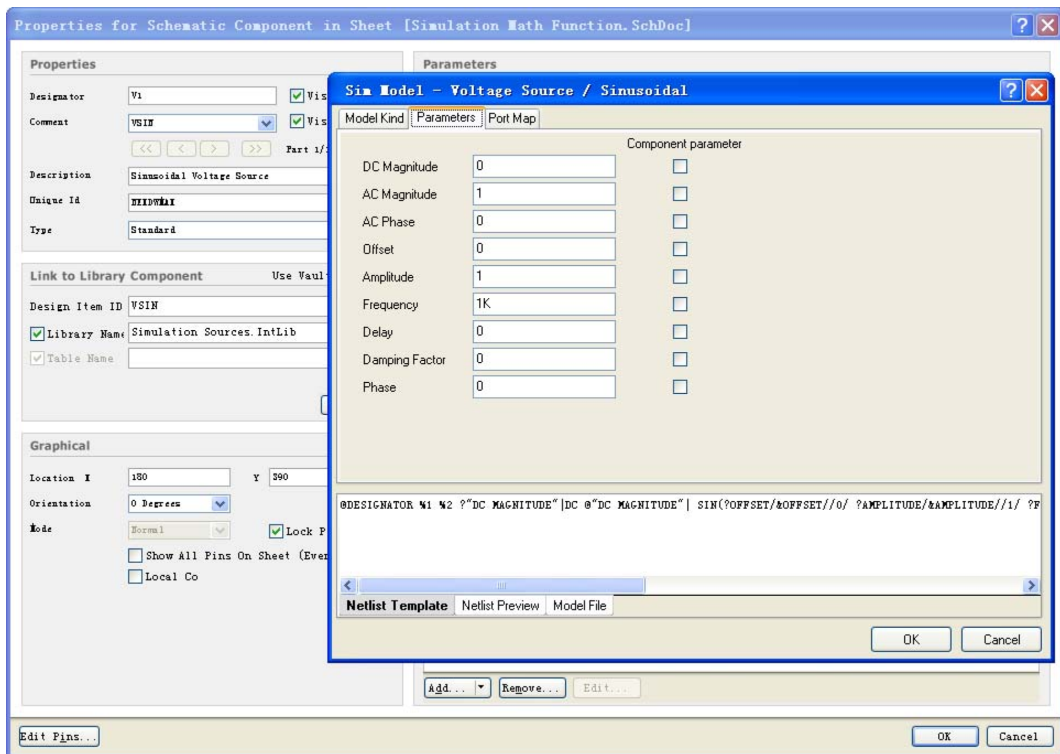



图 12-19　设置正弦电压源的参数

Step9 单击“OK（确定）”按钮得到的仿真原理图如图 12-20 所示。

Step10 在原理图中需要观测信号的位置添加网络标签。在这里需要观测的信号有 4 个，即输入信号、经过正弦变换后的信号、经过余弦变换后的信号及叠加后输出的信号。因此，在相应的位置处放置 4 个网络标签，即“INPUT”、“SINOUT”、“COSOUT”、“OUTPUT”，如图 12-21 所示。

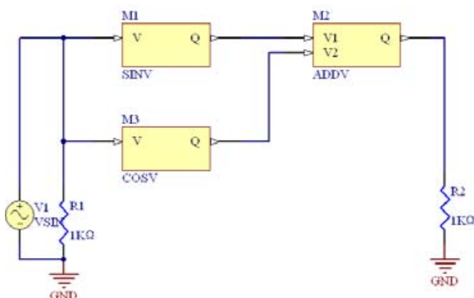



图 12-20　仿真原理图

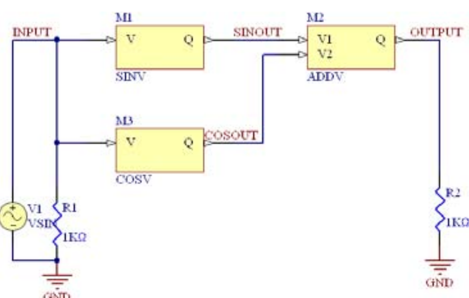



图 12-21　添加网络标签

Step11 单击菜单栏中的“设计”→“仿真”→“Mixed Sim（混合仿真）”命令，在系统弹出的“分析设置”对话框中设置常规参数，详细设置如图 12-22 所示。

Step12 完成通用参数的设置后，在“分析/选项”列表框中，勾选“Operating Point Analysis（工作点分析）”和“Transient Analysis（瞬态特性分析）”复选框。“Transient Analysis（瞬态特性分析）”选项中各项参数的设置如图 12-23 所示。

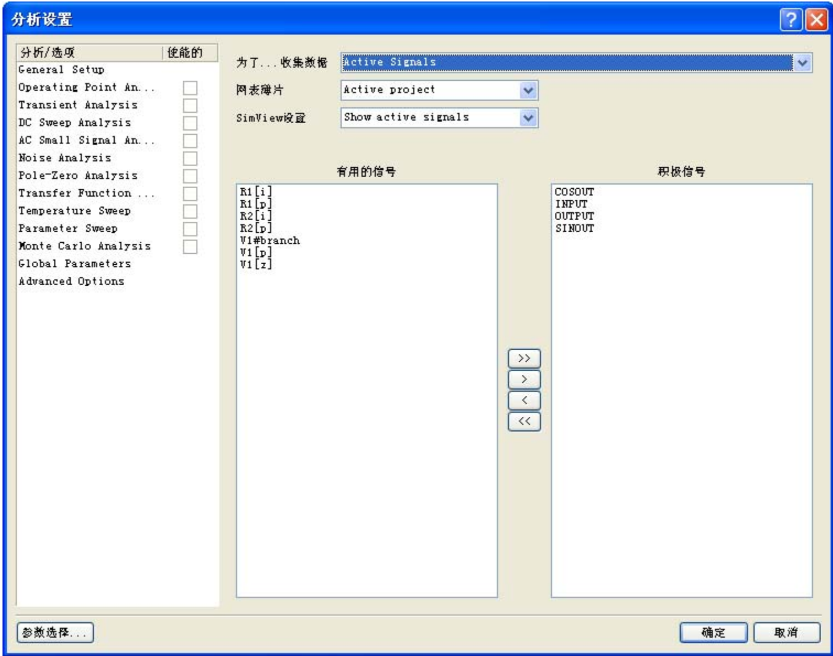



图 12-22 “分析设置”对话框

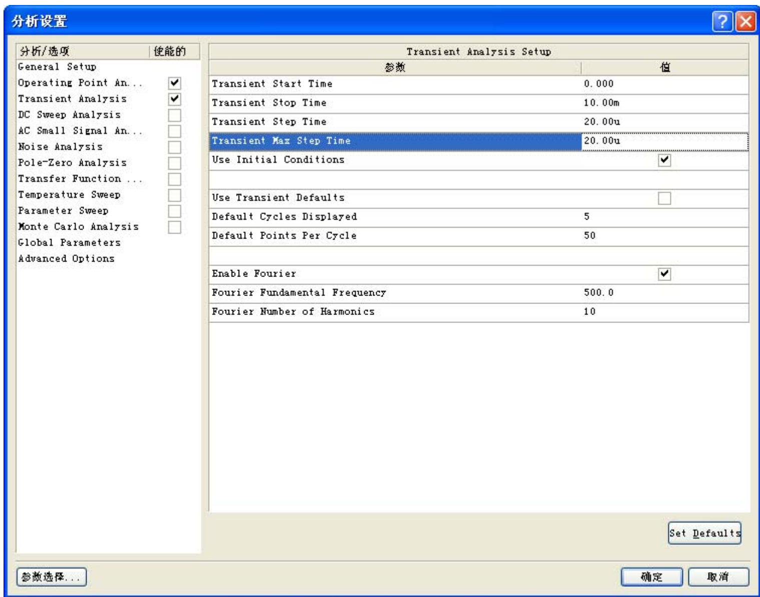



图 12-23 “Transient Analysis”选项的参数设置

Step13 设置完毕后，单击“确定”按钮，系统进行电路仿真。瞬态仿真分析和傅里叶分析的仿真结果分别如图 12-24 和图 12-25 所示。

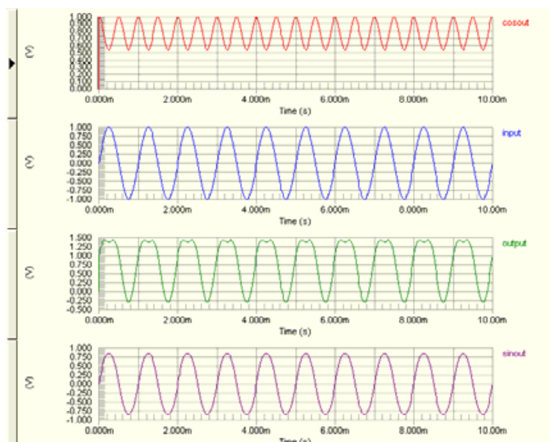



图 12-24 瞬态仿真分析的仿真结果

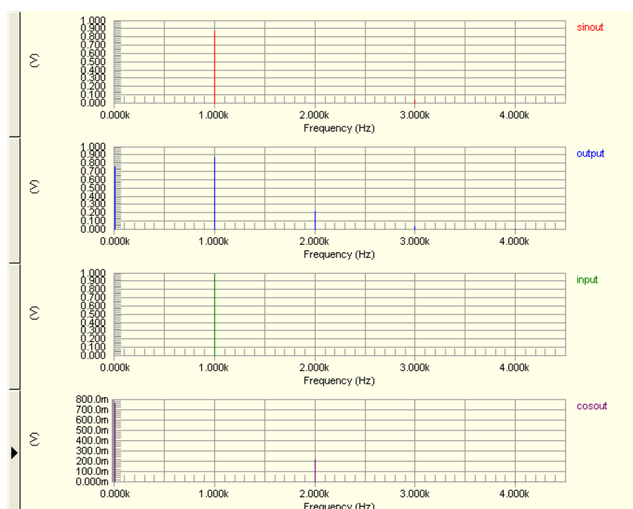
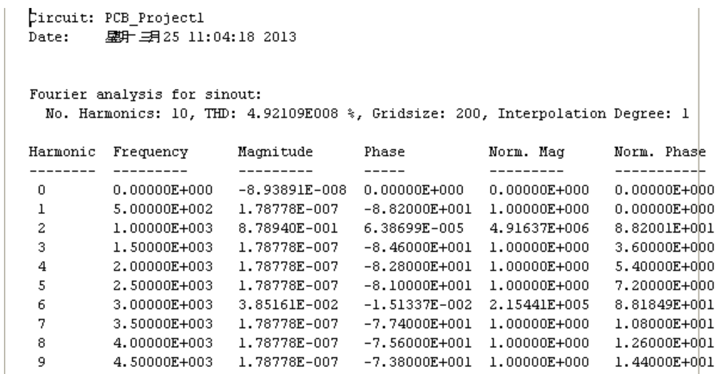



图 12-25 傅里叶分析的仿真结果

在图 12-24 和图 12-25 中分别显示了所要观测的 4 个信号的时域波形及频谱组成。在给出波形的同时，系统还为所观测的节点生成了傅里叶分析的相关数据，保存在后缀名为“.sim”的文件中，如图 12-26 所示是该文件中与输出信号“OUTPUT”有关的数据。

图 12-26 表明了直流分量为 0V，同时给出了基波和 2～9 次谐波的幅度、相位值，以及归一化的幅度、相位值等。

傅里叶变换分析是以基频为步长进行的，因此基频越小，得到的频谱信息就越多。但是基频的设定是有下限限制的，并不能无限小，其所对应的周期一定要小于或等于仿真的终止时间。



Circuit: PCB_Project1
Date: 星期一 三月 25 11:04:18 2013

Fourier analysis for sinout:
No. Harmonics: 10, THD: 4.92109E008 %, Gridsize: 200, Interpolation Degree: 1

| Harmonic | Frequency | Magnitude | Phase | Norm. Mag | Norm. Phase |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.00000E+000 | -8.93891E-008 | 0.00000E+000 | 0.00000E+000 | 0.00000E+000 |
| 1 | 5.00000E+002 | 1.78778E-007 | -8.82000E+001 | 1.00000E+000 | 0.00000E+000 |
| 2 | 1.00000E+003 | 8.78940E-001 | 6.38699E-005 | 4.91637E+006 | 8.82001E+001 |
| 3 | 1.50000E+003 | 1.78778E-007 | -8.46000E+001 | 1.00000E+000 | 3.60000E+000 |
| 4 | 2.00000E+003 | 1.78778E-007 | -8.28000E+001 | 1.00000E+000 | 5.40000E+000 |
| 5 | 2.50000E+003 | 1.78778E-007 | -8.10000E+001 | 1.00000E+000 | 7.20000E+000 |
| 6 | 3.00000E+003 | 3.85161E-002 | -1.51337E-002 | 2.15441E+005 | 8.81849E+001 |
| 7 | 3.50000E+003 | 1.78778E-007 | -7.74000E+001 | 1.00000E+000 | 1.08000E+001 |
| 8 | 4.00000E+003 | 1.78778E-007 | -7.56000E+001 | 1.00000E+000 | 1.26000E+001 |
| 9 | 4.50000E+003 | 1.78778E-007 | -7.38000E+001 | 1.00000E+000 | 1.44000E+001 |

图 12-26　输出信号的傅里叶分析数据

# 12.4　操作实例

## 12.4.1　555 单稳态多谐振荡器仿真

1．设计要求

本例要求根据如图 12-27 所示的单稳态多谐振荡电路原理图，完成电路的扫描特性分析。

2．操作步骤

Step1 在 Altium Designer 13 主界面中，选择“文件”→“New”（新建）→“PCB 工程”（印制电路板项目）菜单命令，然后点击右键选择“保存工程为”菜单命令将新建的工程文件保存为“555 Monostable Multivibrator. PrjPCB”。

Step2 单击右键选择“添加现有的文件到工程”命令，在弹出的对话框中选择“555 Monostable Multivibrator.SchDoc”。如图 12-28 所示。添加的原理图如图 12-27 所示。

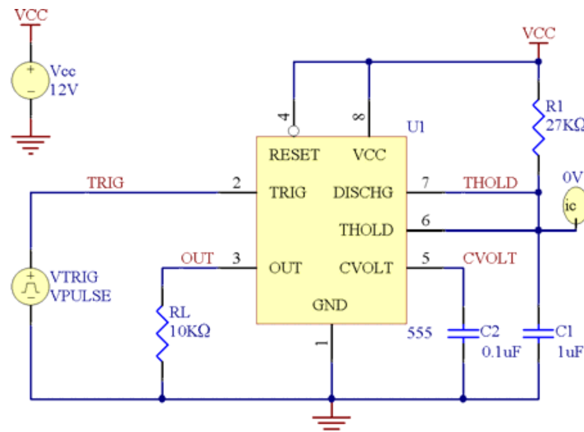



图 12-27　单稳态多谐振荡电路

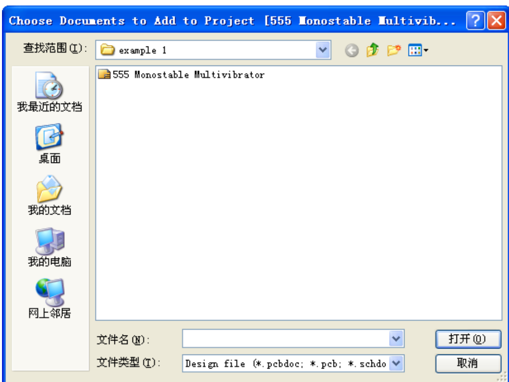



图 12-28　添加原理图文件

Step3 设置元件的参数。双击该元件，系统将弹出元件属性对话框，按照设计要求设置元件参数，如图 12-29 所示。

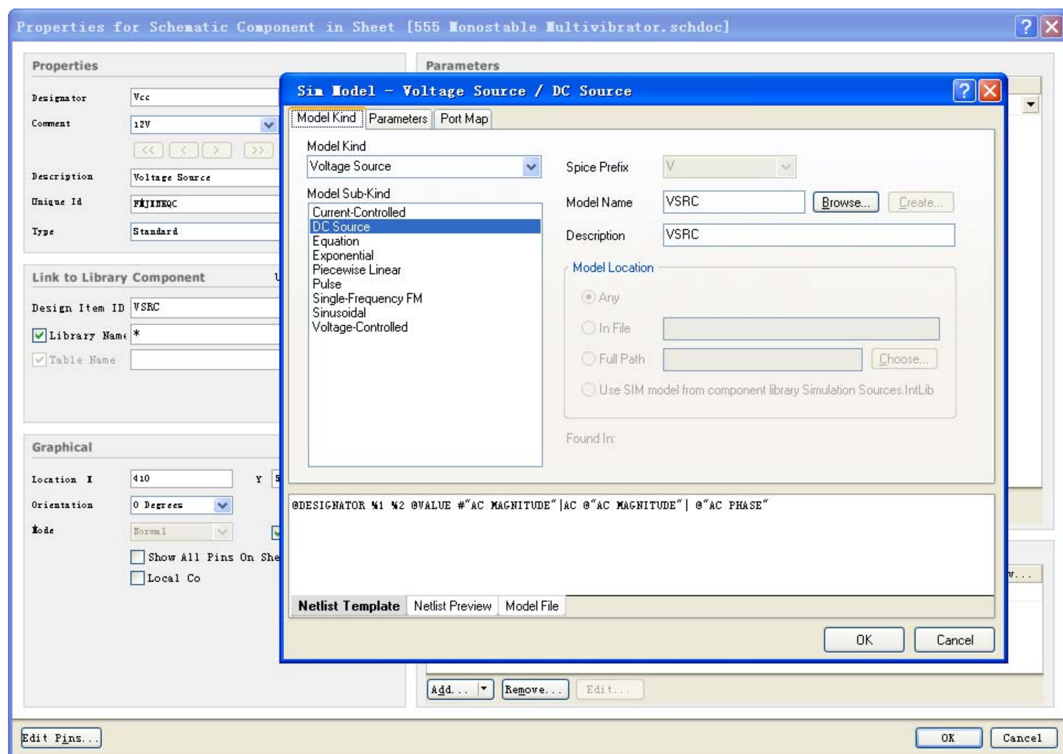



图 12-29 元件属性设置

Step4 单击菜单栏中的“设计”→“仿真”→“Mixed Sim（混合仿真）”命令，系统将弹出“分析设置”对话框。如图 12-30 所示选择工作点分析和瞬态特性分析，并选择观察信号 OUT、TRIG、C2[p]、THOLD。单击选中 Transient Analysis（瞬态分析）项，进行瞬态仿真参数设置。




图 12-30 “General Setup（通用设置）”设置

Step5 设置完毕后，单击[确定]按钮进行仿真，显示信息面板，如图 12-31 所示。系统进行瞬态特性分析，其结果如图 12-32、图 12-33 所示。

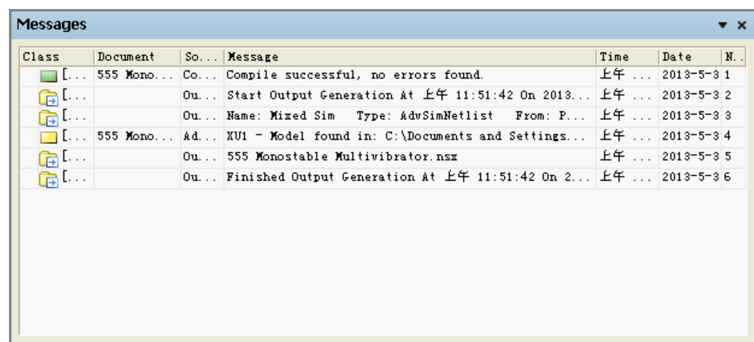



图 12-31 “Message”面板

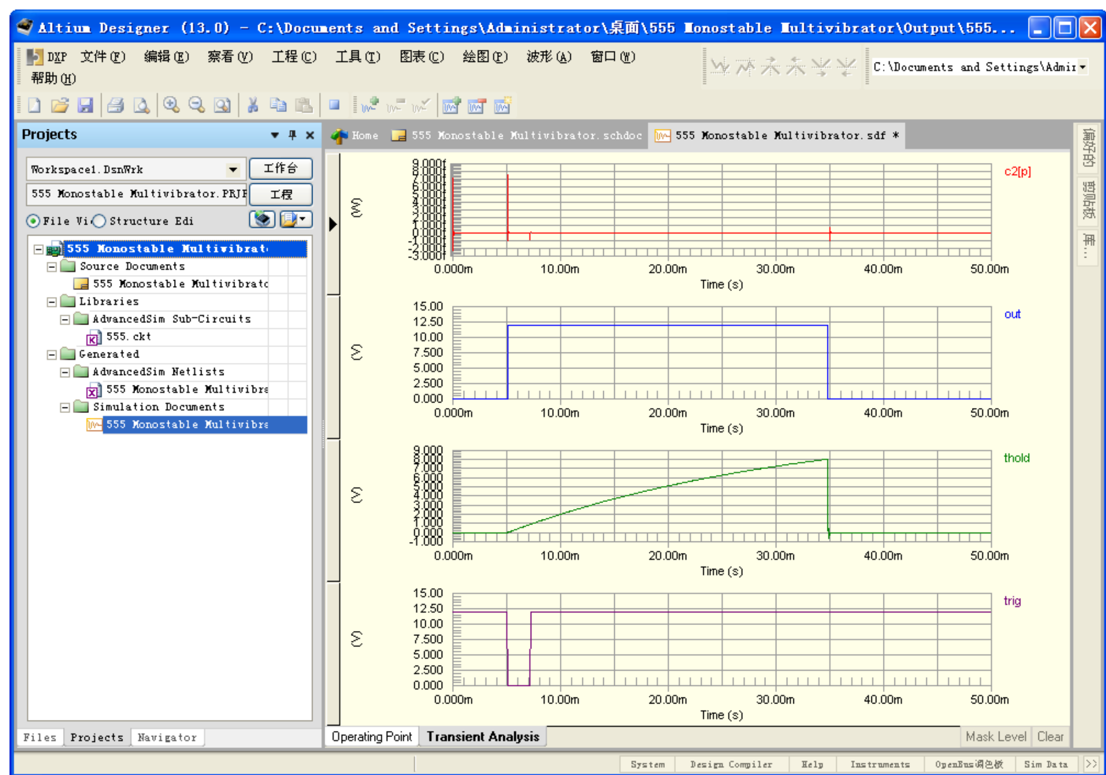



图 12-32 瞬态特性分析结果图

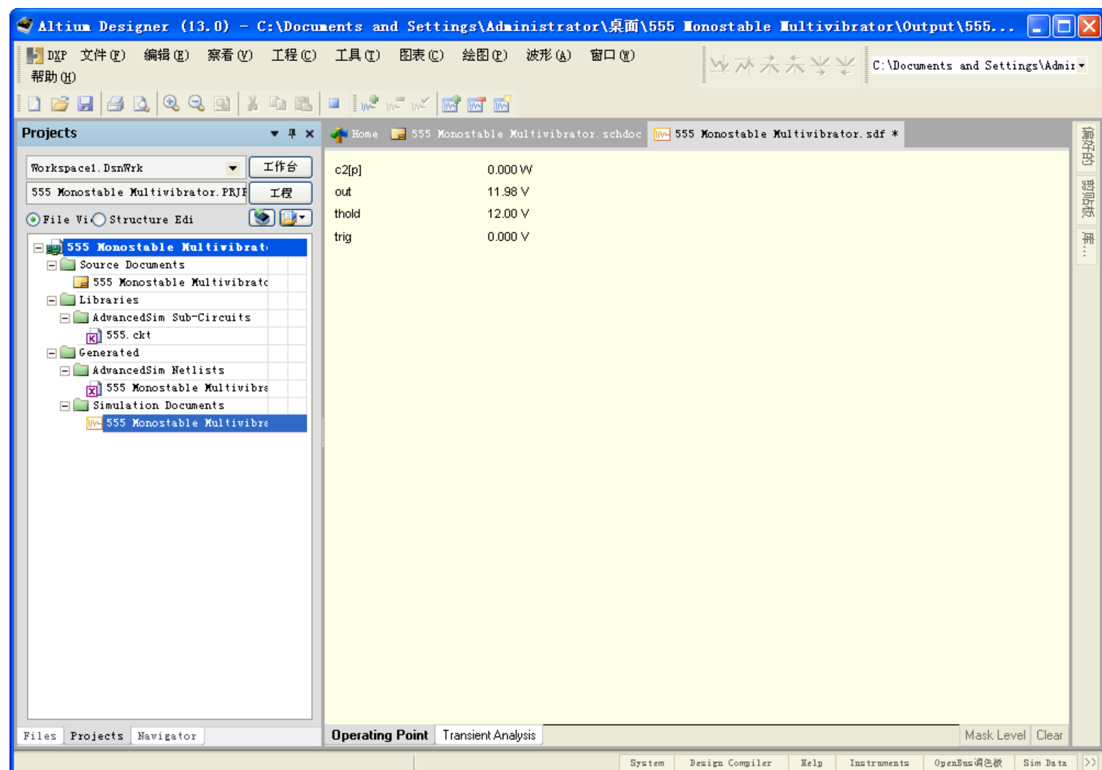



图 12-33　工作点分析结果

## 12.4.2　电源电路仿真

### 1．设计要求

本例要求完成如图 12-34 所示仿真电路原理图的绘制，将主要学习如何使用波形分析器。在完成仿真生成波形后，还要对产生的波形进行计算和分析。

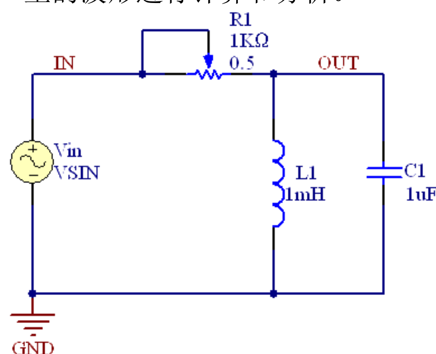



图 12-34　电源电路仿真原理图

### 2．操作步骤

（1）建立工作环境

Step1 在 Altium Designer 13 主界面中，选择“文件”→“New”（新建）→“Project（工程）”→“PCB 工程”（印制电路板项目）菜单命令，然后点击右键选择“保存工程为”菜单命令将新建的工程文件保存为“电源电路.PrjPCB”。

Step2 选择“文件”→“New”（新建）→“原理图”菜单命令，然后点击右键选择“保存为”菜单命令将新建的原理图文件保存为“电源电路.SchDoc”。

Step3 建立如图 12-34 所示的电路原理图。

（2）设置元件的仿真参数

Step1 在本例中所用的信号源为正弦信号源，频率为 60Hz。另外，在原理图中添加两个网络标号 IN 和 OUT。

Step2 选择“设计”→“仿真”→“Mixed Sim”（混合仿真）菜单命令，打开“分析设置”对话框，然后在其中对仿真原理图进行瞬态分析，其仿真参数的设置如图 12-35 所示。

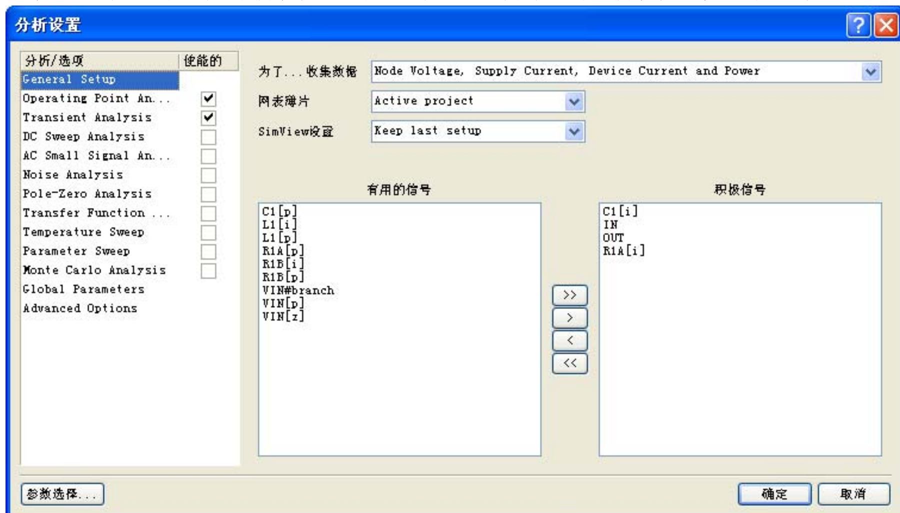



图 12-35　设置瞬态仿真分析参数

Step3 单击确定按钮进行仿真，生成瞬态仿真分析波形，如图 12-36 所示。

（3）调整波形显示结果

选择“图表”→“图表选项”菜单命令，打开“Chart Options（图表选项）”对话框，如图 12-37 所示。该对话框用于调整波形分析器中波形的显示结果。在 Chart 选择区域里的 Name 文本框中输入要修改的曲线名称，在 X Axis 选择区域里设置 X 坐标轴的单位(Units)和标志(Label)。单击 Scale 标签切换到 Scale 选项卡，如图 12-38 所示。在该选项卡中，设置 X 坐标轴的最大刻度(Maximum)和最小刻度(Minimum)等参数。点击确定按钮，退出对话框。

（4）波形的运算

Step1 可以根据需要对生成的波形进行各种与、或等逻辑运算。选择“绘图”→“新图形”菜单命令，打开“Plot Wizard-Step 1 of 3-Plot Title”（绘制向导-3-绘制主题步骤 1）对话框，在该对话框中输入新建波形的名称，如图 12-39 所示。

Step2　单击 Next > 按钮进入波形的显示方式设置步骤，如图 12-40 所示。在这一步中，设置波形的显示方式。

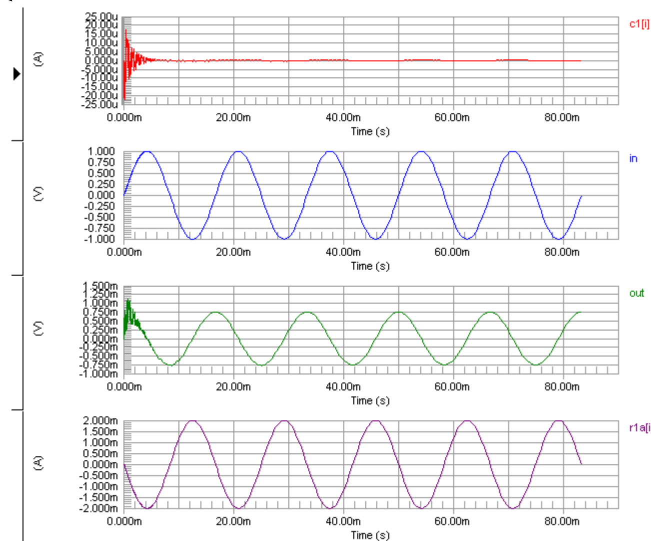


图 12-36　生成仿真波形

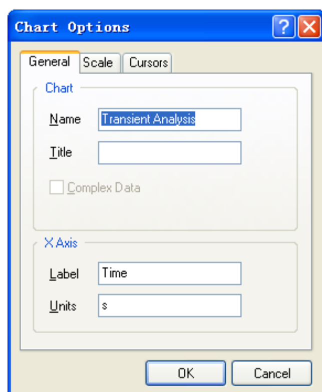


图 12-37　“Chart Options”对话框

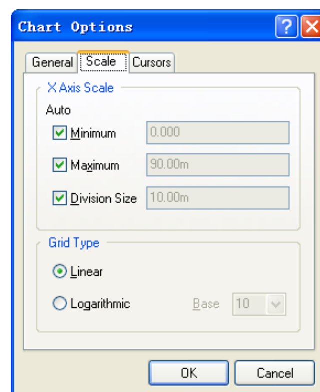


图 12-38　“Scale”选项卡

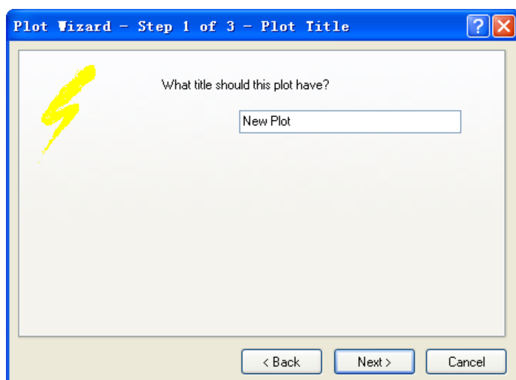


图 12-39　输入新波形的名称

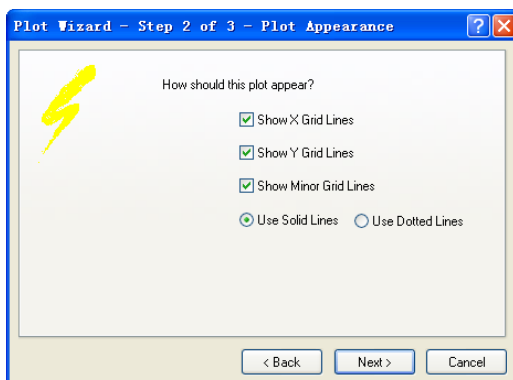


图 12-40　设置波形的显示方式

Step3 单击 Next > 按钮进入下一步设置，在这一步中，添加要进行运算的波形，如图 12-41 所示。单击 Add... 按钮，就可以打开“Add Wave To Plot”（添加波形到绘制）对话框，在对话框左侧的列表框中选择要进行运算的波形，在对话框右侧的列表框中选择运算的方法，这样在“Expression”（表达）对话框中列出了所编辑的算术公式，如图 12-42 所示。

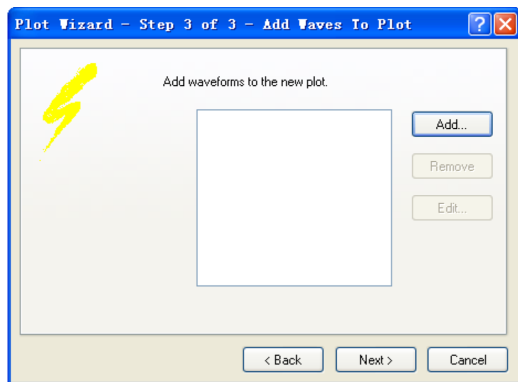


图 12-41 添加波形

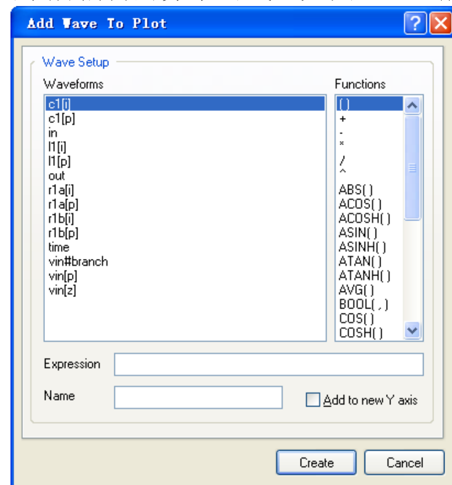


图 12-42 “Add Wave To Plot”对话框

Step4 单击 Create 按钮返回第三步设置界面，如图 12-43 所示，单击 Next > 按钮进入到最后一个步骤，如图 12-44 所示。单击 Finish 按钮就可以创建一个新的波形，如图 12-45 所示。

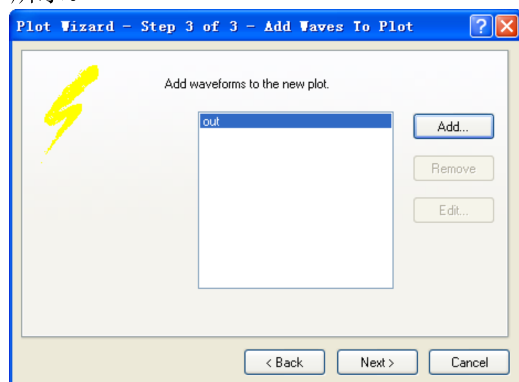


图 12-43 添加进来的新波形

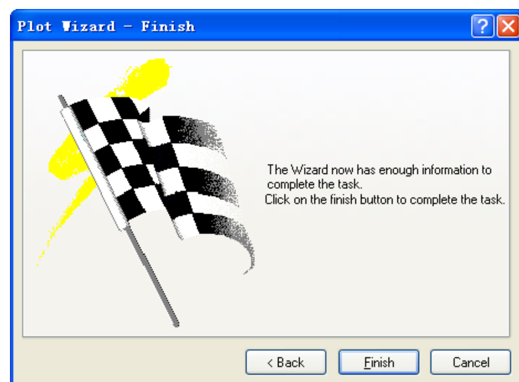


图 12-44 结束波形的添加

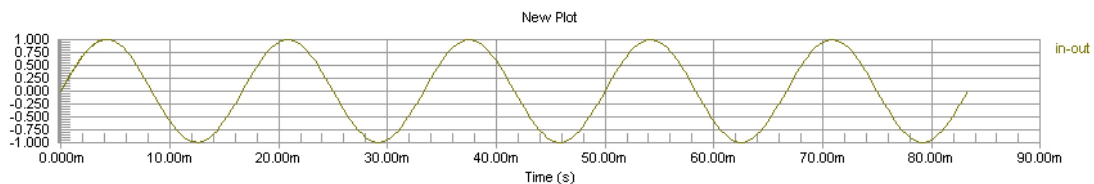


图 12-45 新创建的波形

（5）保存仿真结果。

# 第 13 章

# 信号完整性分析

随着新工艺、新器件的迅猛发展，高速电路系统的数据传输率、时钟频率都相当高，而且电路功能复杂多样，电路密度也不断增大，高速器件已经广泛应用在类似电路的设计过程中。因此，高速电路设计的重点与低速电路设计截然不同，不能仅顾及元件的合理放置与导线的正确连接，还应该对信号的完整性（Signal Integrity，简称 SI）问题给予充分的考虑，否则即使原理正确，系统也可能无法正常工作。

信号完整性分析是高速 PCB 板分析与设计的重要辅助手段，在硬件电路设计中发挥着越来越重要的作用。Altium Designer Winter 13 提供了具有较强功能的信号完整性分析器，以及实用的 SI 专用工具，使 Altium Designer 13 用户能够通过软件模拟出整个电路板各个网络的工作情况，同时还提供了多种解决方案，帮助用户进一步优化自己的电路设计。

## 知识点

- 信号完整性分析概念
- 信号完整性分析规则
- 信号完整性分析器

# 13.1　信号完整性分析规则设置

Altium Designer 13 中包含了许多信号完整性分析的规则，这些规则用于在 PCB 设计中检测一些潜在的信号完整性问题。

在 Altium Designer 13 的 PCB 编辑环境中，单击菜单栏中的“设计”→“规则”命令，系统将弹出“PCB 规则及约束编辑器”对话框。在该对话框中单击“Design Rules（设计规则）”前面的⊞按钮，选择其中的“信号完整性”选项，即可看到如图 13-1 所示的各种信号完整性分析选项，可以根据设计工作的要求选择所需的规则进行设置。

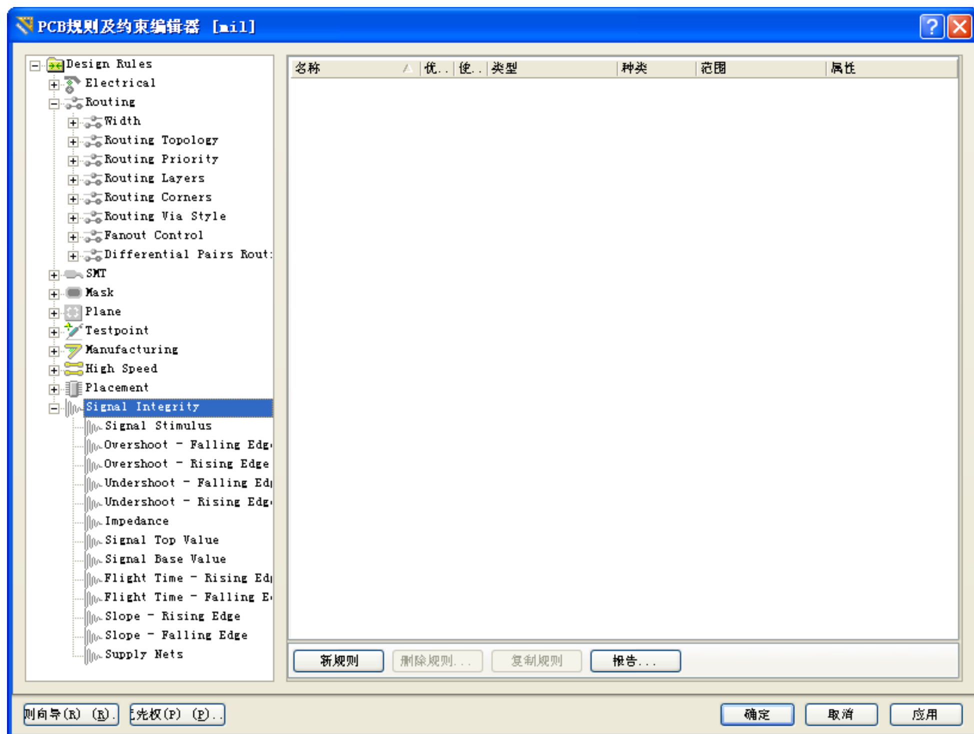



图 13-1　“PCB 规则及约束编辑器”对话框

在“PCB 规则及约束编辑器”对话框中列出了 Altium Designer 13 提供的所有设计规则，但仅列出了可以使用的规则，要想在 DRC 校验时真正使用这些规则，还需要在第一次使用时，把该规则作为新规则添加到实际使用的规则库中。在需要使用的规则上右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“新规则”命令，即可把该规则添加到实际使用的规则库中。如果需要多次使用该规则，可以为其建立多个新的规则，并用不同的名称加以区别。在右键快捷菜单中单击“Import Rules（输入规则）”命令，系统将弹出如图 13-2 所示的“选择设计规则类型”对话框，可以从设计规则库中导入所需的规则。在右键快捷菜单中单击“Report（报表）”命令，则为该规则建立相应的报表文件，并可以打印输出。

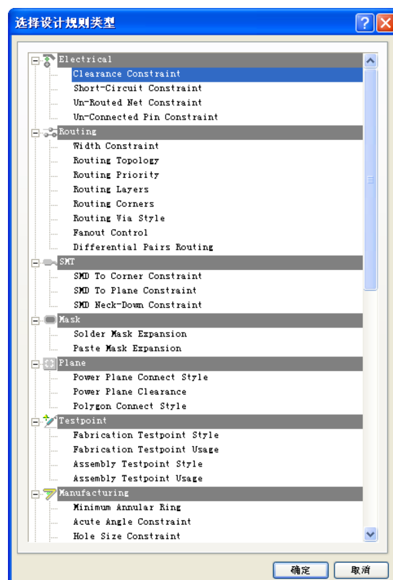



图 13-2 “选择设计规则类型”对话框

在 Altium Designer 13 中包含 13 条信号完整性分析的规则，下面分别介绍。

（1）Signal Stimulus（激励信号）规则：在“信号完整性”选项上右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“新规则”命令，生成“Signal Stimulus（激励信号）”规则选项，单击该规则，弹出如图 13-3 所示的“Signal Stimulus（激励信号）”规则的设置对话框。在该对话框中可以设置激励信号的各项参数。




图 13-3 “Signal Stimulus（激励信号）”规则的设置对话框

1）“名称”文本框：用于为该规则设立一个便于理解的名字，在 DRC 校验中，当电路板布线违反该规则时，就将以该参数名称显示此错误。

2）“注释”文本框：设置该规则的注释说明。

3）“惟一的 ID”文本框：为该参数提供一个随机的 ID 号。

4）“Where the First object matches（优先匹配对象的位置）”选项组：用于设置激励信号规则优先匹配对象的所属范围。

5）“约束”选项组：用于设置激励信号的约束规则。共有 5 个选项，其含义如下：

- “激励类型”：用于设置激励信号的种类。包括 3 个选项，“Constant Level（固定电平）”表示激励信号为某个固定电平，“Single Pulse（单脉冲）”表示激励信号为单脉冲信号，“Periodic Pulse（周期脉冲）”表示激励信号为周期性脉冲信号。
- “开始级别”：用于设置激励信号的初始电平，仅对 Single Pulse（单脉冲）和“Periodic Pulse”（周期脉冲）有效。设置初始电平为低电平时，选择 Low Level（低电平）；设置初始电平为高电平时，选择 High Level（高电平）。
- “开始时间”：用于设置激励信号高电平脉宽的起始时间。
- “停止时间”：用于设置激励信号高电平脉宽的终止时间。
- “时间周期”：用于设置激励信号的周期。

在设置激励信号的时间参数时，要注意添加单位，以免设置出错。

（2）Overshoot-Falling Edge（信号下降沿的过冲）规则：信号下降沿的过冲定义了信号下降边沿允许的最大过冲量，即信号下降沿低于信号基准值的最大阻尼振荡，系统默认的单位是伏特。“Overshoot-Falling Edge（信号下降沿的过冲）”规则的设置对话框如图 13-4 所示。




图 13-4　“Overshoot-Falling Edge”规则设置对话框

（3）Overshoot-Rising Edge（信号上升沿的过冲）规则：信号上升沿的过冲与信号下降沿的过冲是相对应的，它定义了信号上升沿允许的最大过冲量，即信号上升沿高于信号高电平值的最大阻尼振荡，系统默认的单位是伏特。“Overshoot-Rising Edge（信号上升沿的过冲）”规则设置对话框如图 13-5 所示。

（4）Undershoot-Falling Edge（信号下降沿的反冲）规则：信号反冲与信号过冲略有区别。信号下降沿的反冲定义了信号下降边沿允许的最大反冲量，即信号下降沿高于信号基准值（低电平）的阻尼振荡，系统默认的单位是伏特。“Undershoot-Falling Edge（信号下降沿的反冲）”规则设置对话框如图 13-6 所示。

（5）Undershoot-Rising Edge（信号上升沿的反冲）规则：信号上升沿的反冲与信号

下降沿的反冲是相对应的，它定义了信号上升沿允许的最大反冲值，即信号上升沿低于信号高电平值的阻尼振荡，系统默认的单位是伏特。“Undershoot-Rising Edge（信号上升沿的反冲）”规则设置对话框如图 13-7 所示。

（6）Impedance（阻抗约束）规则：阻抗约束定义了电路板上所允许的电阻的最大和最小值，系统默认的单位是欧姆。阻抗和导体的几何外观及电导率、导体外的绝缘层材料及电路板的几何物理分布，以及导体间在 Z 平面域的距离相关。其中绝缘层材料包括电路板的基本材料、工作层间的绝缘层及焊接材料等。

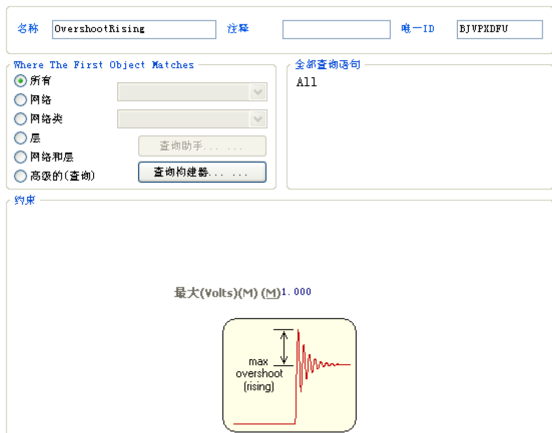



图 13-5 “Overshoot-Rising Edge”规则设置对话框




图 13-6 “Undershoot-Falling Edge”规则设置对话框

（7）Signal Top Value（信号高电平）规则：信号高电平定义了线路上信号在高电平状态下所允许的最低稳定电压值，即信号高电平的最低稳定电压，系统默认的单位是伏特。“Signal Top Value（信号高电平）”规则设置对话框如图 13-8 所示。

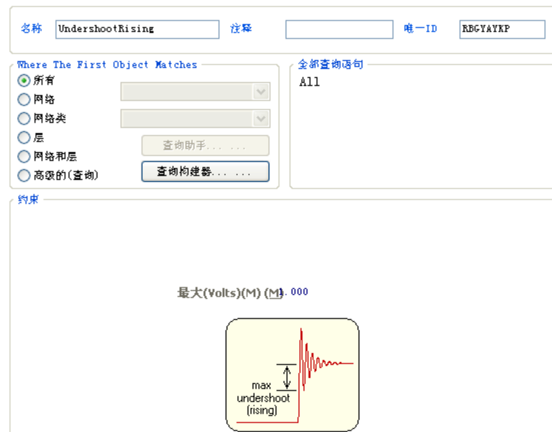



图 13-7 “Undershoot-Rising Edge”规则设置对话框




图 13-8 “Signal Top Value”规则设置对话框

（8）Signal Base Value（信号基准值）规则：信号基准值与信号高电平是相对应的，它定义了线路上信号在低电平状态下所允许的最高稳定电压值，即信号低电平的最高稳定电

压值，系统默认的单位是伏特。“Signal Base Value（信号基准值）”规则设置对话框如图13-9 所示。

（9）Flight Time-Rising Edge（上升沿的上升时间）规则：上升沿的上升时间定义了信号上升沿允许的最大上升时间，即信号上升沿到达信号幅度值的 50%时所需的时间，系统默认的单位是秒。“Flight Time-Rising Edge（上升沿的上升时间）”规则设置对话框如图13-10 所示。




图 13-9 “Signal Base Value”规则设置对话框 图 13-10 “Flight Time-Rising Edge”规则设置对话框

（10）Flight Time-Falling Edge（下降沿的下降时间）规则：下降沿的下降时间是由相互连接电路单元引起的时间延迟，它实际是信号电压降低到门限电压（由高电平变为低电平的过程中）所需要的时间。该时间远小于在该网络的输出端直接连接一个参考负载时信号电平降低到门限电压所需要的时间。

下降沿的下降时间与上升沿的上升时间是相对应的，它定义了信号下降边沿允许的最大下降时间，即信号下降边沿到达信号幅度值的 50%时所需的时间，系统默认的单位是秒。“Flight Time-Falling Edge（下降沿的下降时间）”规则设置对话框如图 13-11 所示。




图 13-11 “Flight Time-Falling Edge”规则设置对话框 图 13-12 “Slope-Rising Edge”规则设置对话框

（11）Slope-Rising Edge（上升沿斜率）规则：上升沿斜率定义了信号从门限电压上升到一个有效的高电平时所允许的最大时间，系统默认的单位是秒。“Slope-Rising Edge（上升沿斜率）”规则设置对话框如图 13-12 所示。

（12）Slope-Falling Edge（下降沿斜率）规则：下降沿斜率与上升沿斜率是相对应的，它定义了信号从门限电压下降到一个有效的低电平时所允许的最大时间，系统默认的单位是秒。“Slope-Falling Edge（下降沿斜率）”规则设置对话框如图 13-13 所示。




图 13-13 “Slope-Falling Edge”规则设置对话框

（13）Supply Nets（电源网络）规则：电源网络定义了电路板上的电源网络标号。信号完整性分析器需要了解电源网络标号的名称和电压值。

在设置好完整性分析的各项规则后，在工程文件中，打开某个 PCB 设计文件，系统即可根据信号完整性的规则设置对印制电路板进行板级信号完整性分析。

## 13.2 设定元件的信号完整性模型

与第 12 章的电路原理图仿真过程类似，Altium Designer 13 的信号完整性分析也是建立在模型基础之上的，这种模型就称为信号完整性模型，简称 SI 模型。

与封装模型、仿真模型一样，SI 模型也是元件的一种外在表现形式。很多元件的 SI 模型与相应的原理图符号、封装模型、仿真模型一起，由系统存放在集成库文件中。因此，与设定仿真模型类似，也需要对元件的 SI 模型进行设定。

元件的 SI 模型可以在信号完整性分析之前设定，也可以在信号完整性分析的过程中进行设定。

### 13.2.1　在信号完整性分析之前设定元件的 SI 模型

在 Altium Designer 13 中，提供了若干种可以设定 SI 模型的元件类型，如 IC（集成电路）、Resistor（电阻元件）、Capacitor（电容元件）、Connector（连接器类元件）、Diode（二极管元件）和 BJT（双极性三极管元件）等。对于不同类型的元件，其设定方法各不相同。

（1）无源元件的 SI 模型设定

Step1 在电路原理图中，双击所放置的某一无源元件，打开相应的元件属性对话框，这里打开前面章节的“Cpu.SchDoc”原理图文件，双击一个电阻。

Step2 单击元件属性对话框下方的“Add（添加）”按钮，在系统弹出的“添加新模型”对话框中，选择“信号完整性”选项，如图 13-14 所示。




图 13-14　“Add New Model”对话框

Step3 单击“确定”按钮，系统将弹出如图 13-15 所示的“Signal Integrity Model（信号完整性模型）”对话框。在该对话框中，只需要在“Type（类型）”下拉列表框中选择相应的类型。此时选择“Resistor（电阻器）”选项，然后在“Value（值）”文本框中输入适当的电阻值。

若在“Model（模型）”选项组的类型中，元件的“信号完整性”模型已经存在，则双击后，系统同样弹出如图 13-15 所示的“Signal Integrity Model（信号完整性模型）”对话框。

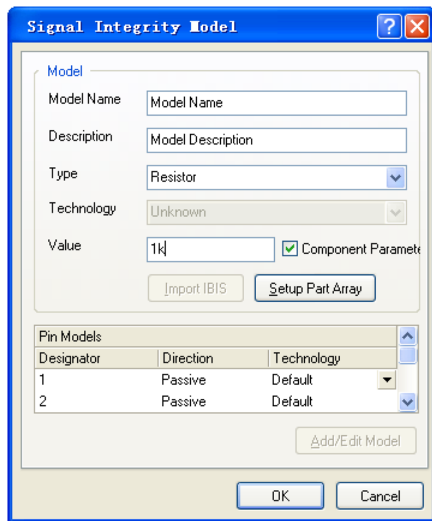



图 13-15　“Signal Integrity Model”对话框

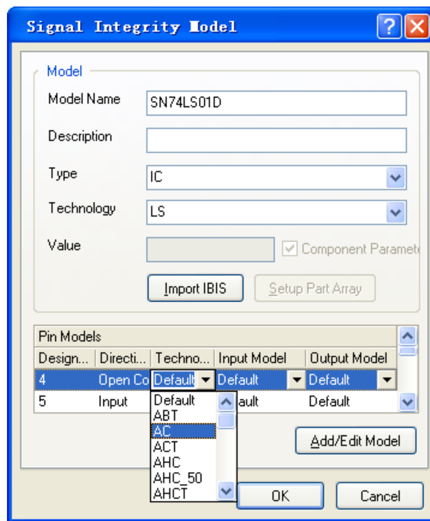



图 13-16　IC 元件的引脚编辑

Step4 单击“OK（确定）”按钮，即可完成该无源元件的 SI 模型设定。

对于 IC 类的元件，其 SI 模型的设定同样是在“Signal Integrity Model（信号完整性模型）”对话框中完成的。一般说来，只需要设定其内部结构特性就够了，如 CMOS、TTL 等。但是在一些特殊的应用中，为了更准确地描述引脚的电气特性，还需要进行一些额外的设定。

在“Signal Integrity Model（信号完整性模型）”对话框的“Pin Models（引脚模型）”列表框中，列出了元件的所有引脚。在这些引脚中，电源性质的引脚是不可编辑的。而对于其他引脚，则可以直接用其右侧的下拉列表框完成简单功能的编辑。如图13-16所示，将某一元件（如“SN74LS01D”）的某一输入引脚的技术特性，即工艺类型设定为“AS”（Advanced Schottky Logic，高级肖特基逻辑晶体管）。

如果需要进一步的编辑，可以进行如下的操作：

（2）新建引脚模型

Step1 在“Signal Integrity Model（信号完整性模型）”对话框中，单击“Add/Edit Model（添加/编辑模型）”按钮，系统将弹出相应的引脚模型编辑器，如图13-17所示。

Step2 单击“确定”按钮，返回“Signal Integrity Model（信号完整性模型）”对话框，可以看到添加了一个新的输入引脚模型供用户选择。

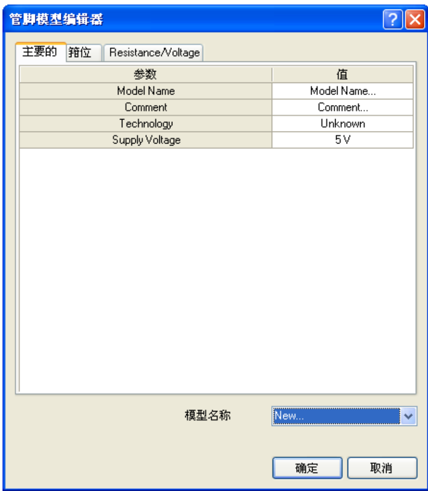



图13-17　引脚模型编辑器

另外，为了简化设定SI模型的操作，以及保证输入的正确性，对于IC类元件，一些公司提供了现成的引脚模型供用户选择使用，这就是IBIS（Input/Output Buffer Information Specification，输入、输出缓冲器信息规范）文件，扩展名为“.ibs”。

使用IBIS文件的方法很简单，在“Signal Integrity Model”（信号完整性模型）”对话框中，单击“Import IBIS（输入IBIS）”按钮，打开已下载的IBIS文件就可以了。

Step3 对元件的SI模型设定之后，单击菜单栏中的“设计”→“Update PCB Document（更新PCB文件）”命令，即可完成相应PCB文件的同步更新。

### 13.2.2　在信号完整性分析过程中设定元件的SI模型

具体的操作步骤如下：

Step1 打开执行信号完整性分析的项目，这里打开一个简单的设计项目“SY.PrjPCB”，打开的“SY.PcbDoc”项目文件如图13-18所示。

Step2 单击菜单栏中的“工具”→“信号完整性”命令，系统开始运行信号完整性分析器，弹出如图13-19所示的信号完整性分析器，其具体设置将在13.3节中详细介绍。

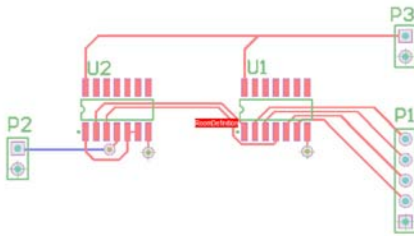



图13-18　“SY.PcbDoc”项目文件

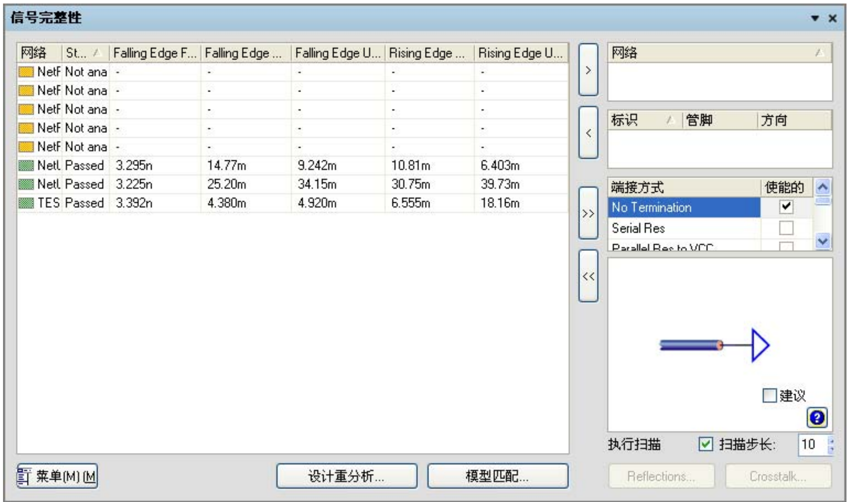



图 13-19　信号完整性分析器

Step3 单击“模型分配”按钮，系统将弹出 SI 模型参数设定对话框，显示所有元件的 SI 模型设定情况，供用户参考或修改，如图 13-20 所示。

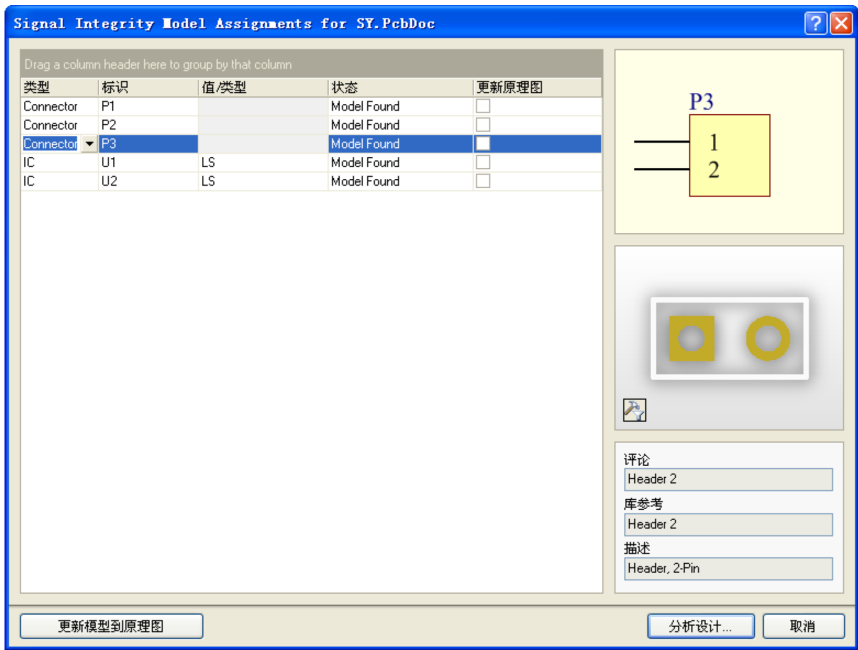



图 13-20　元件的 SI 模型设定对话框

显示框中左侧第 1 列显示的是已经为元件选定的 SI 模型，用户可以根据实际的情况，对不合适的模型类型直接单击进行更改。

对于 IC（集成电路）类型的元件，在对应的“值/类型”列中显示了其制造工艺类型，该项参数对信号完整性分析的结果有着较大的影响。

在“状态”列中，显示了当前模型的状态。实际上，在单击菜单栏中的“工具”→“信

号完整性”命令，开始运行信号完整性分析器的时候，系统已经为一些没有设定 SI 模型的元件添加了模型，这里的状态信息就表示了这些自动加入的模型的可信程度，供用户参考。状态信息一般有以下几种：

- Model Found（找到模型）：已经找到元件的 SI 模型。
- High Confidence（高可信度）：自动加入的模型是高度可信的。
- Medium Confidence（中等可信度）：自动加入的模型可信度为中等。
- Low Confidence（低可信度）：自动加入的模型可信度较低。
- No Match（不匹配）：没有合适的 SI 模型类型。
- User Modified（用修改的）：用户已修改元件的 SI 模型。
- Model Saved（保存模型）：原理图中的对应元件已经保存了与 SI 模型相关的信息。

在显示框中完成了需要的设定以后，这个结果应该保存到原理图源文件中，以便下次使用。勾选要保存元件右侧的复选框后，单击“更新模型到原理图中”按钮，即可完成 PCB 与原理图中 SI 模型的同步更新保存。保存后的模型状态信息均显示为“Model Saved（保存模型）”。

## 13.3　信号完整性分析器设置

Altium Designer 13 提供了一个高级的信号完整性分析器，能精确地模拟分析已布线的 PCB，可以测试网络阻抗、反冲、过冲、信号斜率等。其设置方式与 PCB 设计规则一样，首先启动信号完整性分析器，再打开某一项目的某一 PCB 文件，单击菜单栏中的“工具”→“信号完整性”命令，系统开始运行信号完整性分析器。

信号完整性分析器界面如图 13-21 所示，主要由以下几部分组成。

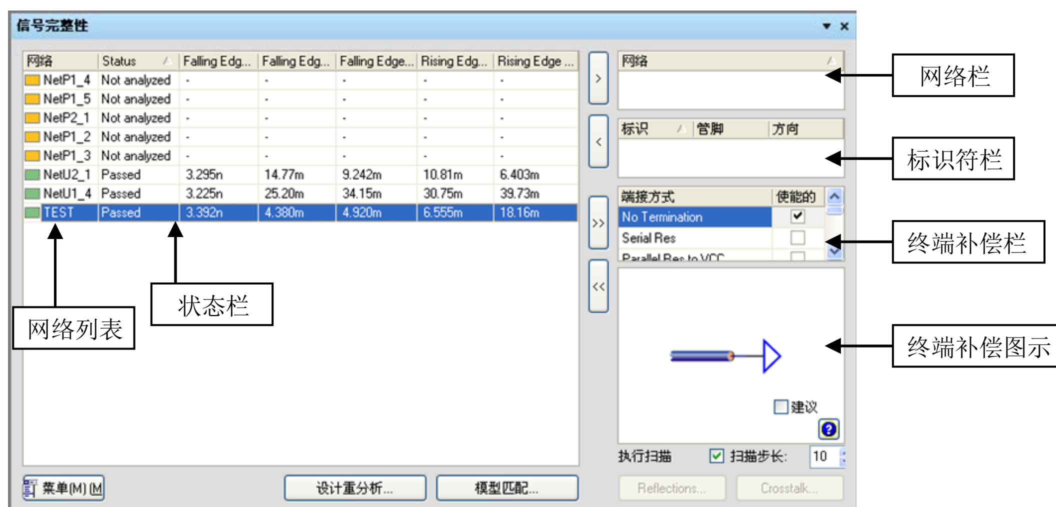



图 13-21　信号完整性分析器的界面

1．网络列表

网络列表中列出了 PCB 文件中所有可能需要进行分析的网络。在分析之前，可以选中需要进一步分析的网络，单击 > 按钮添加到右侧的“Net（网络）”栏中。

2．状态栏

用于显示对某个网络进行信号完整性分析后的状态，包括以下 3 种状态：

- Passed（通过）：表示通过，没有问题。
- Not analyzed（无法分析）：表明由于某种原因导致对该信号的分析无法进行。
- Failed（失败）：分析失败。

3．标识符栏

用于显示在“网络”栏中选定的网络所连接元件的引脚及信号的方向。

4．终端补偿栏

在 Altium Designer 13 中，对 PCB 进行信号完整性分析时，还需要对线路上的信号进行终端补偿的测试。其目的是测试传输线中信号的反射与串扰，以便使 PCB 中的线路信号达到最优。

在“终端补偿”栏中，系统提供了 8 种信号终端补偿方式，相应的图示显示在下面的图示栏中。

（1）No Termination（无终端补偿）：该补偿方式如图 13-22 所示，即直接进行信号传输，对终端不进行补偿，是系统的默认方式。

（2）Serial Res（串阻补偿）：该补偿方式如图 13-23 所示，即在点对点的连接方式中，直接串入一个电阻，以降低外部电压信号的幅值，合适的串阻补偿将使得信号正确传输到接收端，消除接收端的过冲现象。

（3）Parallel Res to VCC（电源 VCC 端并阻补偿）：在电源 VCC 输出端并联的电阻是和传输线阻抗相匹配的，对于线路的信号反射，这是一种比较好的补偿方式，如图 13-24 所示。由于该电阻上会有电流通过，因此将增加电源的消耗，导致低电平阀值的升高。该阀值会根据电阻值的变化而变化，有可能会超出在数据区定义的操作条件。

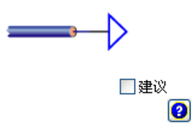



图 13-22　无终端补偿方式

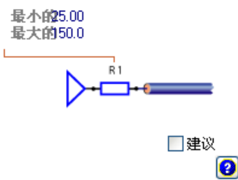



图 13-23　串阻补偿方式

（4）Parallel Res to GND（接地端并阻补偿）：该补偿方式如图 13-25 所示，在接地输入端并联的电阻是和传输线阻抗相匹配的，与电源 VCC 端并阻补偿方式类似，这也是补偿线路信号反射的一种比较好的方法。同样，由于有电流通过，会导致高电平阀值的降低。

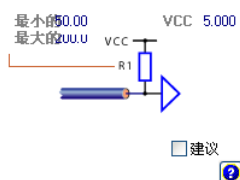


图 13-24　电源 VCC 端并阻补偿方式

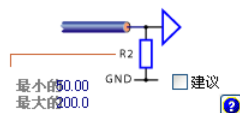


图 13-25　接地端并阻补偿方式

（5）Parallel Res to VCC & GND（电源端与接地端同时并阻补偿）：该补偿方式如图 13-26 所示，将电源端并阻补偿与接地端并阻补偿结合起来使用。适用于 TTL 总线系统，而对于 CMOS 总线系统则一般不建议使用。

由于该补偿方式相当于在电源与地之间直接接入了一个电阻，通过的电流将比较大，因此对于两电阻的阻值应折中分配，以防电流过大。

（6）Parallel Cap to GND（接地端并联电容补偿）：该补偿方式如图 13-27 所示，即在信号接收端对地并联一个电容，可以降低信号噪声。该补偿方式是制作 PCB 印制板时最常用的方式，能够有效地消除铜膜导线在走线拐弯处所引起的波形畸变。最大的缺点是，波形的上升沿或下降沿会变得太平坦，导致上升时间和下降时间增加。

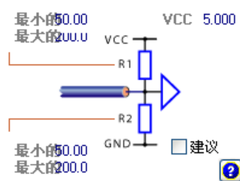


图 13-26　电源端与接地端同时并阻补偿方式

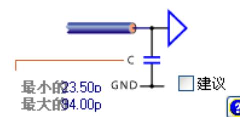


图 13-27　接地端并联电容补偿方式

（7）Res and Cap to GND（接地端并阻、并容补偿）：该补偿方式如图 13-28 所示，即在接收输入端对地并联一个电容和一个电阻，与接地端仅仅并联电容的补偿效果基本一样，只不过在补偿网络中不再有直流电流通过。而且与地端仅仅并联电阻的补偿方式相比，能够使得线路信号的边沿比较平坦。

在大多数情况下，当时间常数 RC 大约为延迟时间的 4 倍时，这种补偿方式可以使传输线上的信号充分终止。

（8）Parallel Schottky Diode（并联肖特基二极管补偿）：该补偿方式如图 13-29 所示，在传输线补偿端的电源和地端并联肖特基二极管可以减小接收端信号的过冲和下冲值。大多数标准逻辑集成电路的输入电路都采用了这种补偿方式。

5.“执行扫描”复选框

若勾选该复选框，则信号分析时会按照用户所设置的参数范围，对整个系统的信号完整性进行扫描，类似于电路原理图仿真中的参数扫描方式。扫描步数可以在后面进行设置，一般应勾选该复选框，扫描步数采用系统默认值即可。

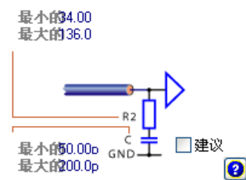



图 13-28　接地端并阻、并容补偿方式

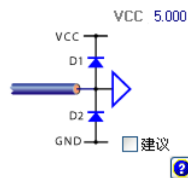
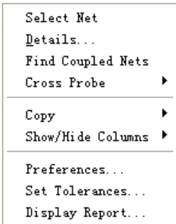



图 13-29　并联肖特基二极管补偿方式

6．“菜单”按钮

选中其中一个网络后单击该按钮，弹出如图 13-30 所示“菜单”菜单，各命令功能如下：

- Select net（选择网络）：单击该命令，系统会将选中的网络添加到右侧的网络栏内。
- Details（详细资料）：单击该命令，系统将弹出如图 13-31 所示的“Full Results（整个结果）”对话框，显示在网络列表中所选的网络详细分析情况，包括元件个数、导线条数，以及根据所设定的分析规则得出的各项参数等。



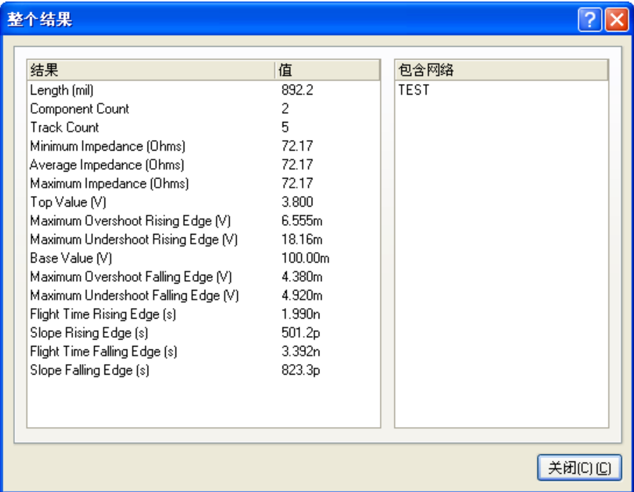




图 13-30　“菜单”菜单　　　　图 13-31　“整个结果”对话框

- Find Coupled Nets（找到关联网络）：单击该命令，可以查找所有与选中的网络有关联的网络，并高亮显示。
- Cross Probe（通过探查）：包括“To Schematic（到原理图）”和“To PCB（到 PCB）”两个子命令，分别用于在原理图中或者在 PCB 文件中查找所选中的网络。
- Copy（复制）：复制所选中的网络，包括“Select（选择）”和“All（所有）”两个子命令，分别用于复制选中的网络和选中所有网络。
- Show/Hidden Columns（显示/隐藏纵队）：该命令用于在网络列表栏中显示或者隐藏一些分析数据列。“Show/Hidden Columns（显示/隐藏纵队）”子菜单如图 13-32 所示。
- “Preferences（参数）”：单击该命令，用户可以在弹出的“Signal Integrity Preferences（信号完整性首选项）”对话框中设置信号完整性分析的相关选项，如图 13-33 所示。该对话框中包含若干选项卡，对应不同的设置内容。在信号完整性

分析中，用到的主要是“Configuration（配置）”选项卡，用于设置信号完整性分析的时间及步长。

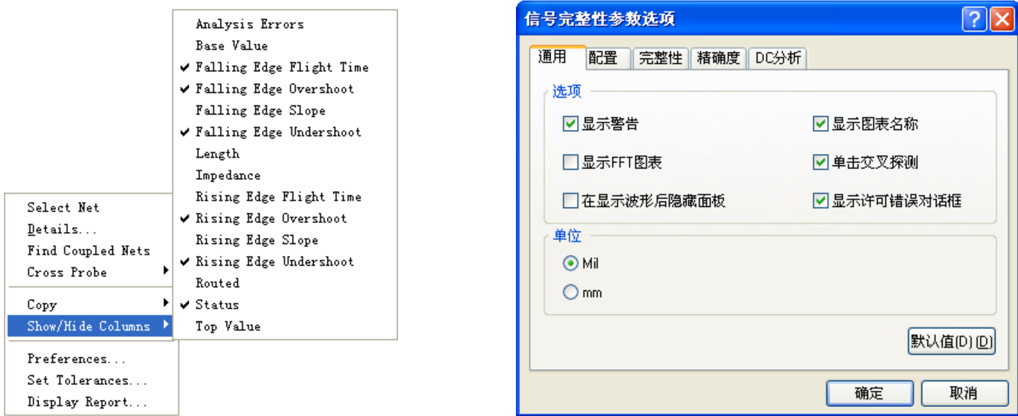



图 13-32 “Show/Hidden Columns”子菜单　　图 13-33 “Signal Integrity Preferences”对话框

- Set Tolerances（设置公差）：单击该命令后，系统将弹出如图 13-34 所示的“设置扫描分析公差”对话框。公差（Tolerance）用于限定一个误差范围，代表了允许信号变形的最大值和最小值。将实际信号的误差值与这个范围相比较，就可以查看信号的误差是否合乎要求。对于显示状态为“Failed（失败）”的信号，其主要原因是信号超出了误差限定的范围。因此在进行进一步分析之前，应先检查公差限定是否太过严格。




图 13-34 “设置扫描分析公差”对话框

- “Display Report（显示报表）”：用于显示信号完整性分析报表。

## 13.4 实例——某复杂电路板信号完整性分析

随着 PCB 的日益复杂及大规模、高速元件的使用，对电路的信号完整性分析变得非常重

要。本节将通过电路原理图及 PCB 电路板，详细介绍对电路进行信号完整性分析的步骤。

1. 设计要求

利用如图 13-35 所示的电路原理图和如图 13-36 所示的 PCB 电路板图，完成电路板的信号完整性分析。通过实例，使读者熟悉和掌握 PCB 电路板的信号完整性规则的设置、信号的选择及“Termination Advisor”（终端顾问）对话框的设置，最终完成信号波形输出。

图 13-35 电路原理图

图 13-36 PCB 电路板图

2．操作步骤

Step1 在原理图编辑环境中，单击菜单栏中的“工具”→“信号完整性”命令，系统将弹出如图 13-37 所示的“Errors or warning found（发现错误或警告）”对话框。

Step2 单击“Continue（继续）”按钮，系统将弹出如图 13-38 所示的“信号完整性”对话框。

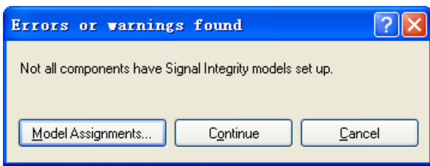



图 13-37 “Errors or warning found”对话框

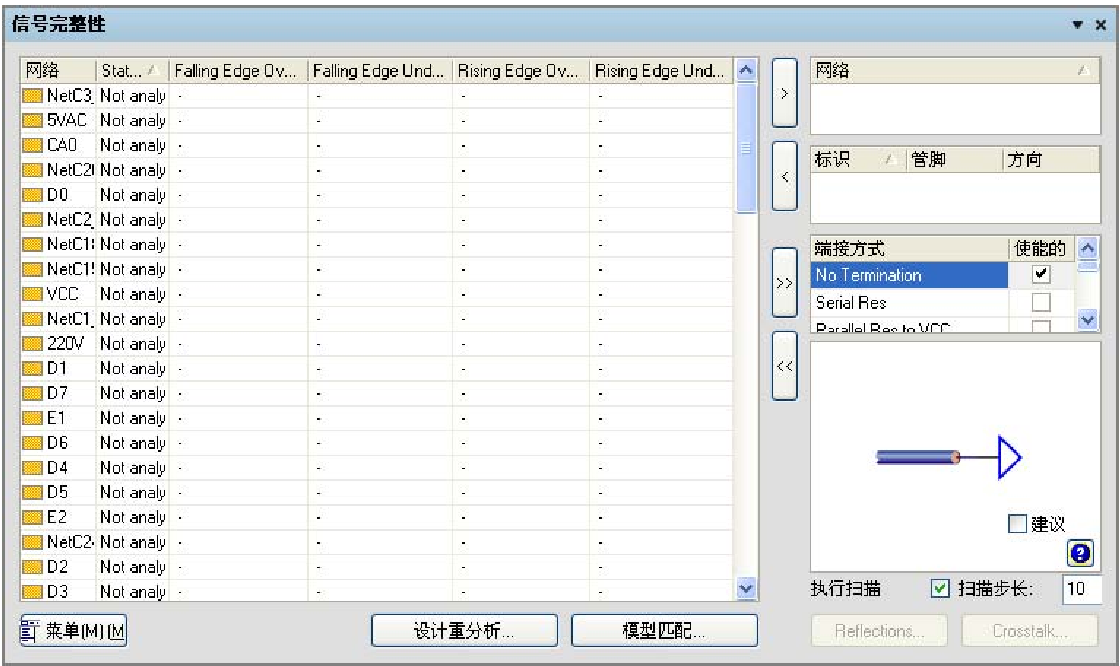



图 13-38 “信号完整性”对话框

Step3 选择 D1 信号，单击按钮将 D1 信号添加到“网络”栏中，在下面的窗口中显示出与 D1 信号有关的元件 JP4、U1、U2、U5，如图 13-39 所示。

Step4 在“端接方式”栏中，系统提供了 8 种信号终端补偿方式，相应的图示显示在下面的图示栏中。选择“No Termination（无终端补偿）”选项，然后单击“Reflections（显示）”按钮，显示的无补偿时的波形如图 13-40 所示。

Step5 在“端接方式”栏中，选择“Serial Res（串阻补偿）”选项，然后单击“Reflections（显示）”按钮，显示的串阻补偿时的波形如图 13-41 所示。

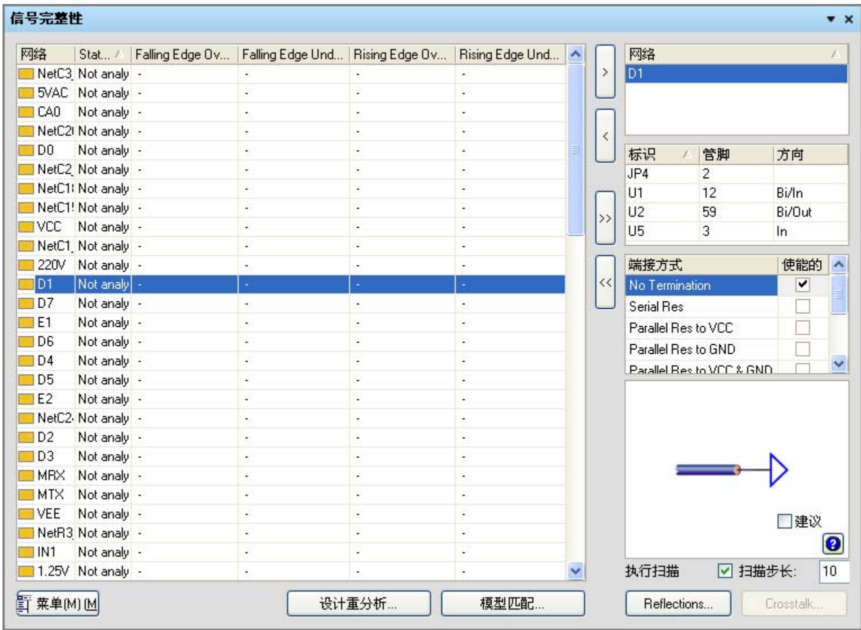



图 13-39　选择 D1 信号

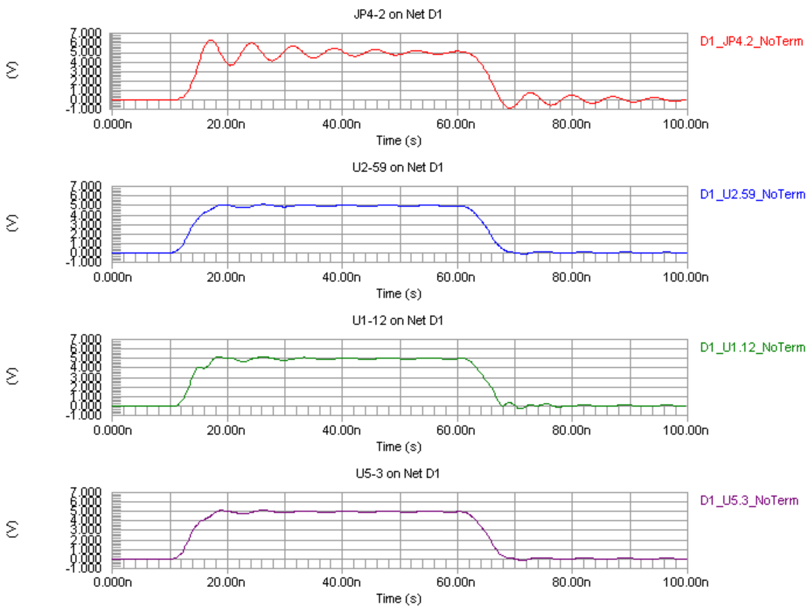



图 13-40　无补偿时的波形

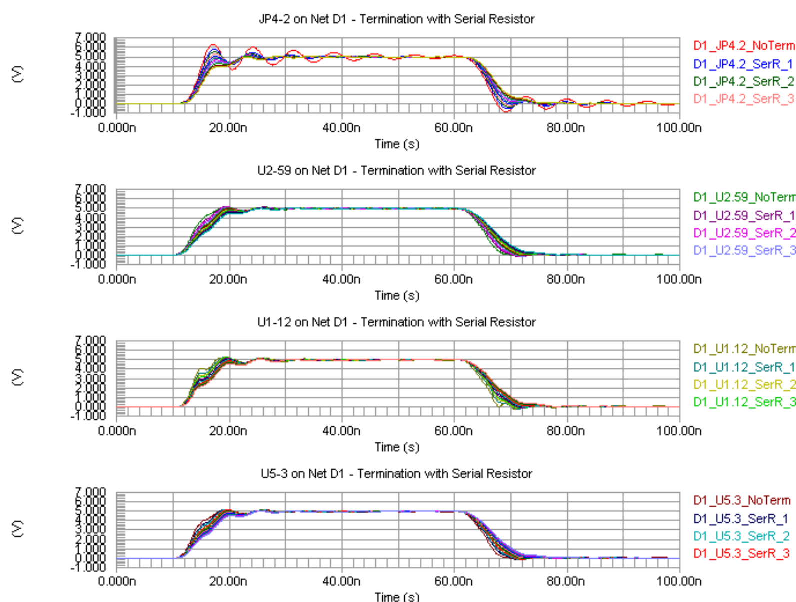



图 13-41　串阻补偿时的波形

Step6 在“端接方式”栏中，选择“Parallel Cap to GND（接地端并阻补偿）”选项，然后单击“Reflections（显示）”按钮，显示的接地端并阻补偿时的波形如图 13-42 所示。其余的补偿方式请读者自行练习。

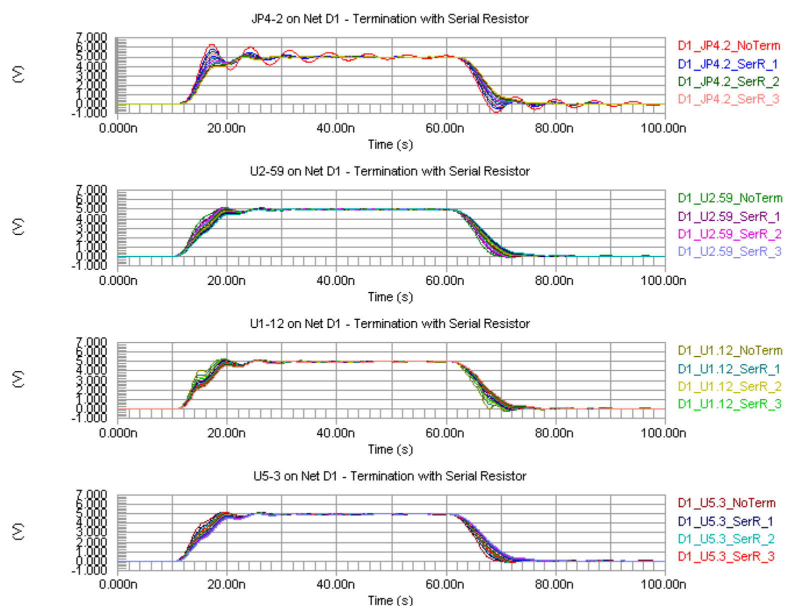



图 13-42　接地端并阻补偿时的波形

# 第 14 章

# 自激多谐振荡器电路设计实例

在 Altium Designer 中引入了项目的概念。当用 Altium Designer 进行设计的时候，是从创建一个个项目开始的。这些项目把设计元素链接在一起，这些元素包括原理图或网络表源文件或 PCB 文件。在项目中也可以把输出设置进行保存。然后，系统会把这些信息在项目范围内保存，应用到以后的设计中，不必对每个文件的格式进行一一设置。而作为项目中的各个文件在 Windows 系统中是单独存储的。Project 文件记录它们的相对路径。为了便于管理，通常我们为每一个项目建立一个文件夹，在文件夹里存储项目包含的各个文件。

项目一共有 4 种类型可以选择，分别是 PCB 项目、FPGA 项目、集成元件库（Integrated Library）和嵌入式系统项目(Embedded Project)。一般设计 PCB 常用的是 PCB Project。在这个菜单下还可以创建新的原理图、PCB 和 VHDL 文件，也可以新建原理图和 PCB 的元件库以及一些文本文件和 CAM 文件。

本章将通过自激多谐振荡器实例讲述电路设计从 Schematic 到 PCB 的完整流程。

## 知识点

- 从 Schematic 到 PCB 的流程
- 绘制原理图
- 设计 PCB 板

# 14.1 从Schematic 到PCB 的设计流程

在该实例中以如图14-1本章下面介绍从Schematic 到PCB 的设计流程。以一个简单的小实例，让读者系统地了解一下从原理图设计到PCB 设计的过程，掌握一些常用技巧。

## 14.1.1 原理图的输入

草稿图所示的一个自激多谐振荡器为例讲解整个PCB设计的流程。

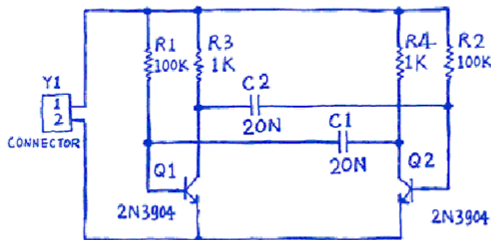



图 14-1 一个自激多谐振荡器的电路图

Step1 执行菜单命令“文件”→“New（新建）”→“Project（工程）”→“PCB 工程”，建立一个新的PCB 项目。

Step2 执行菜单命令 “文件”→“保存工程为”，将项目命名为“Multivibrator.PrjPCB”，保存在指定的目录文件夹中。这样就保存了一个名为“Multivibrator”的项目。

Step3 执行菜单命令 “文件”→“New（新建）”→“原理图”，新建了一个原理图文件，新建的原理图文件会自动添加到“Multivibrator” 项目中，如图14-2所示。

Step4 执行菜单命令“设计”→“文档选项”，出现“文档选项”设置对话框，如图14-3所示。

Step5 可以对文件夹进行设置。可以修改如模板名字，选择是否显示明细表、参考区等等，以及图纸的大小。现在默认的图纸（Standard Style）为A4 号，单击Parameters 标签将其激活后，可以加入一些该文件夹的参考信息。本例中，只改变图纸的大小。设置好后，单击OK，完成设置。

Step6 执行菜单命令“文件”→“保存为”，存储原理图文件，命名为“Multivibrator.SchDoc”。

Step7 执行菜单命令“察看”→“工作区面板”→“System（系统）”→“库”。右侧的“库”工作区面板显示为库工作区面板。如果知道用到的元件在哪个库中，直接单击库工作区面板左上角ibraries..按钮，弹出“可用库”对话框，单击“工程”标签，在对话框中单击“添加库”按钮，选择所需的库，单击“打开”按钮，就加载了所选的库，可以在原理图设计中使用该库中的元件，如图14-4所示。

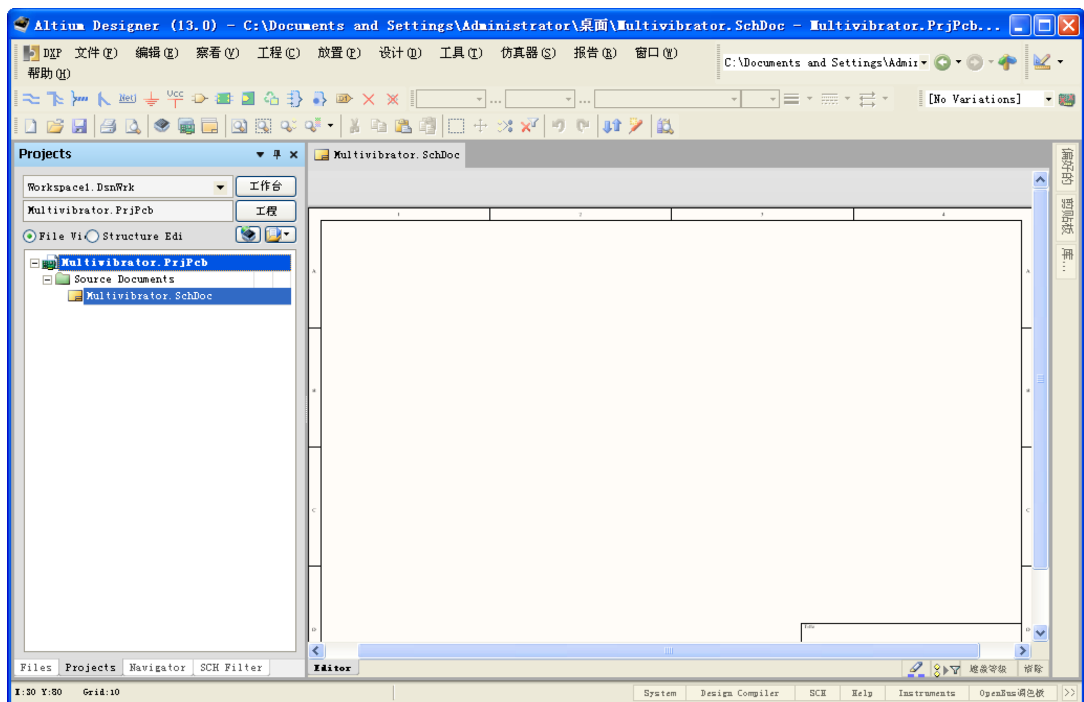
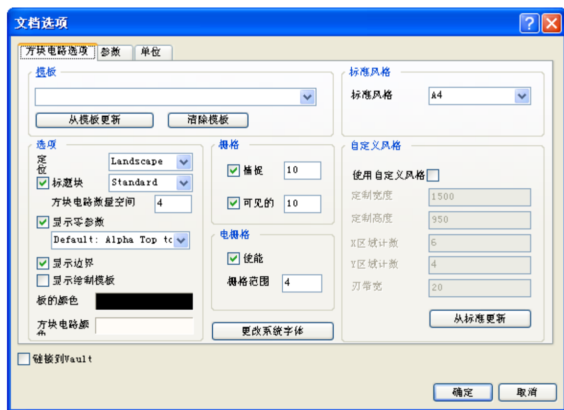



图 14-2　工程中增加原理图文件



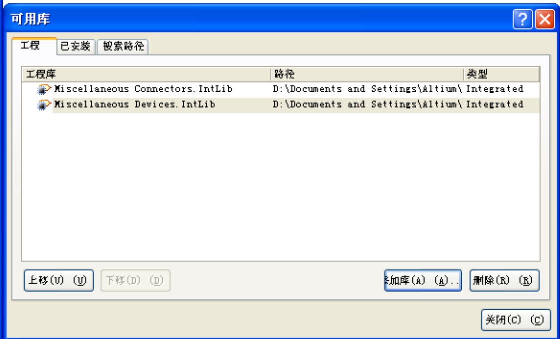




图 14-3　“文档选项”对话框　　　　图 14-4　“可用库”对话框

如果事先不知道准确的库，则单击“查找”按钮查询。弹出“搜索库”对话框，如图14-5所示。

Step8 在“范围” 选项中，单击“库文件路径”。确定“路径”路径为正确指向库所在路径。在本例中，需要“2N3904”，所以，在查询对话框中，输入“3904”为查询条件。不查询子目录，所以“路径” 中的“包含子目录” 不选中。单击“查找” 按钮。然后在库面板中就会显示出查询到的“2N3904”元件，显示查询结果，如图14-6所示。

Step9 选中查找到的元件，右键单击选择“添加或删除库”，就成功加载了库。右侧的库工作面板会有库的相应显示。

Step10 选择“Miscellaneous Devices.IntLib” 为当前库。库名下的过滤器中默认通配符为“*”，下面列表中列出了该库中的所有元件。在“*”后面输入“3904”，可以快速定位元件。在列表中选择“2N3904”。可以看到，Altium Designer 13采用了集成的库管理方式。在元件列表下方还有三个小窗口。从上到下的依次顺序是元件的原理图图形，元件集成库中所包含的内容（封装，电路模型等），元件的PCB 板封装图形。如果该元件有预览，则在最下面还会出现元件的预览窗口。

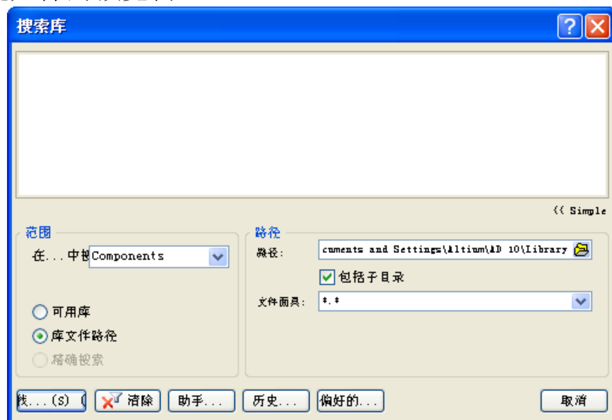



图 14-5 “搜索库”对话框

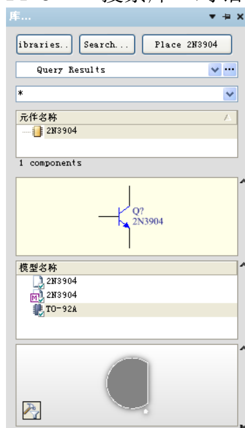



图 14-6 查询结束的库面板

Step11 双击元件名，光标呈十字状，光标上“悬浮”着一个晶体管轮廓。现在处于放置元件状态。按下“Tab”键，可以打开元件属性对话框。如图14-7所示。

Step12 设置元件属性。将“Designator（标识符）”命名为Q1，确定封装正确，其他属性在本例中不修改。单击 OK ，对话框关闭后，光标恢复到按下Tab键以前，将光标移动到原理图图纸上合适的位置，单击左键，放下元件Q1。保持原来的摆放元件状态，再移动到合适的位置，按下“X”键，使元件水平翻转，单击左键，放下元件“Q2”。只用到两个“2N3094”，所以单击鼠标右键，光标恢复到标准指针状态。

Step13 放置电阻，在库工作区面板中，在过滤器里输入“RES1”，选择元件列表中的“RES1”，双击“RES1”后转到元件摆放状态，按下Tab键，设置属性，如图14-8所示。

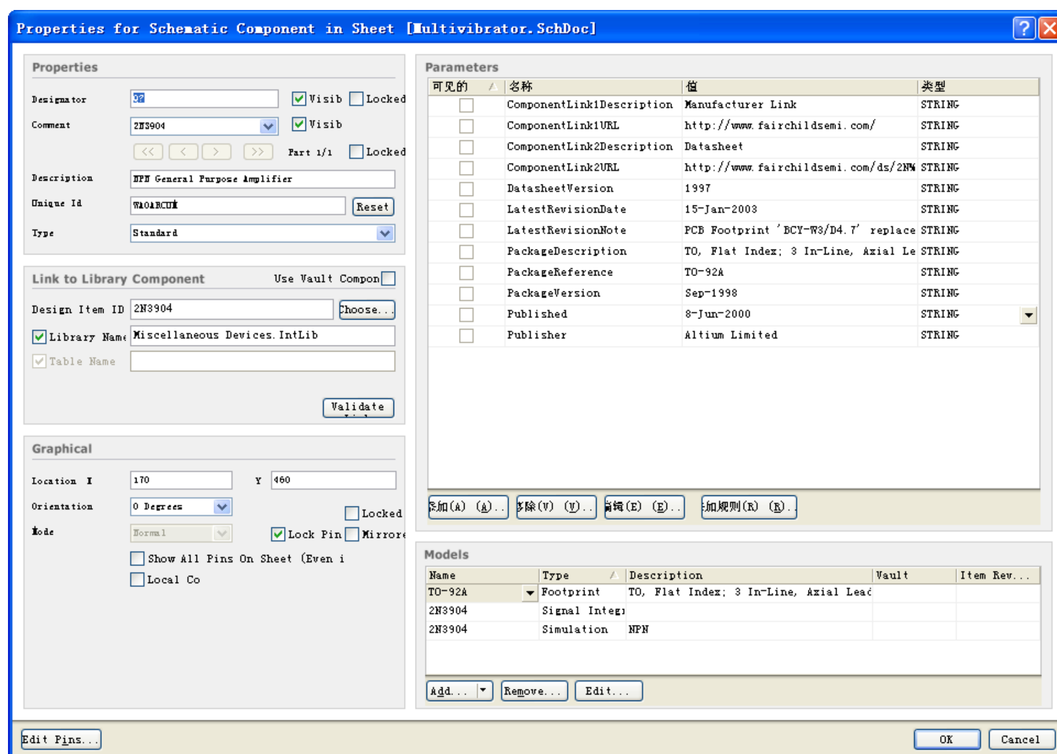



图14-7　元件属性对话框

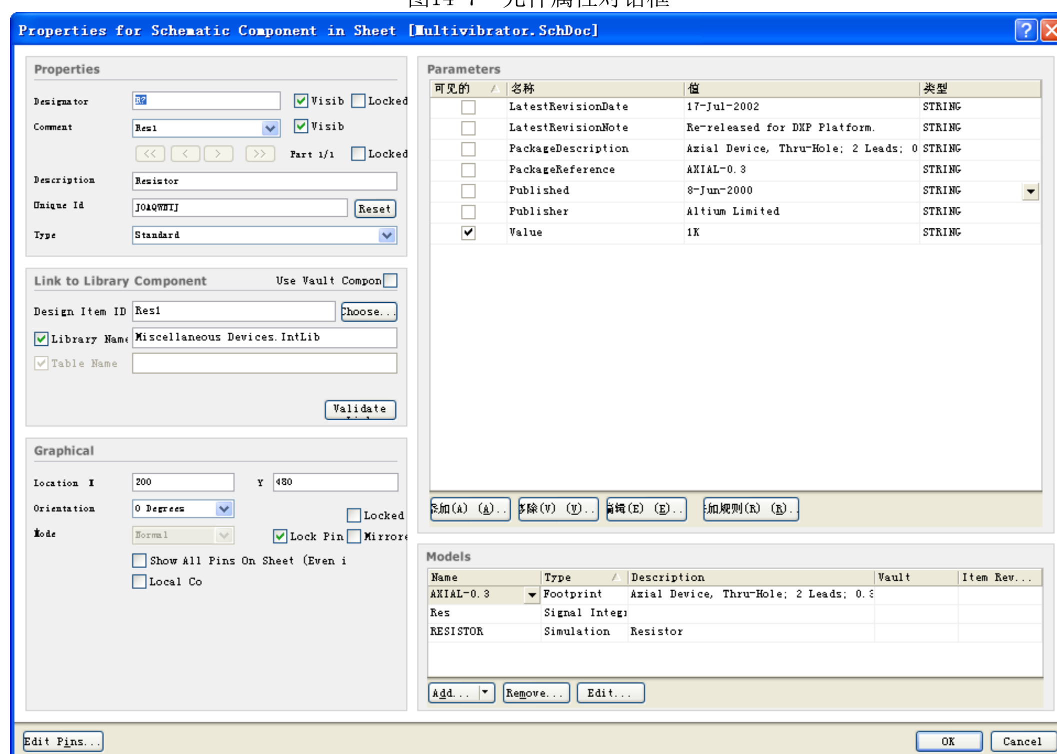



图 14-8　电阻元件属性对话框

Step14 在“Designator（标识符）”栏中键入“R1”作为第一个电阻元件序号。确认封装正确。在“Comment（内容）” 栏中，选择“＝Value”，并使其不可视。“=Value” 规则可以作为关于元件的一般信息在仿真时使用，个别元件除外。设置“Comment”来读取这个值，这会将“Comment（内容）”信息体现在PCB 设计工具中。对电阻的Parameter 栏的设置将在原理中显示，并在本书以后运行电路仿真时会被Altium Designer 13使用。单击“Parameter（参数）”中的“Value（值）”一栏的Value 值，直接键入“100K”。单击 OK 。回到放置模式，按空格键可以旋转器件，将R1 移动到合适的位置后单击左键放下器件。同样方法摆放其余三个电阻。R3，R4 的Value 值设为1K。

Step15 放置电容的方法同电阻，在库工作区面板的过滤器中键入“CAP ”可以找到所用的电容。电容Value 为20n。

Step16 放置连接器，所在库为“Miscellaneous Connetors.Intlib”，加载它并确认它为当前库。在列表中找到“HEADER2”元件，仿真时将它作为电路，不需对它进行规则设置。按X按钮可以水平翻转它。

Step17 执行菜单命令“察看”→“合适图纸”，能够得到刚好显示所有器件的视图。开始着手连接电路。单击“放置”→ “导线”菜单命令，进入连线模式，光标变为十字状。将光标移到R1 的下端，当出现一个红色的连接标记时，说明光标在元件的一个电气连接点上，单击左键确定下第一个导线点，移动光标，到Q1 的基极，出现红色标记时，单击左键，完成这个连接后，单击右键，则恢复到连线初始模式。可以继续连接下面的电路。如果连接完毕，再单击右键，则光标恢复到标准指针状态。

彼此连接的一组元器件的引脚称为网络。在这个电路上为了以后作仿真方便加上一些网络标签。执行菜单命令“放置”→“网络标签”。放置标签前，按下Tab键，可以改变网络名。如图14-9所示。标签左下角要与相应的网络发生电气连接。我们加入“+12V”和“GND”两个标签。完成的原理图如图14-10所示。然后保存原理图。

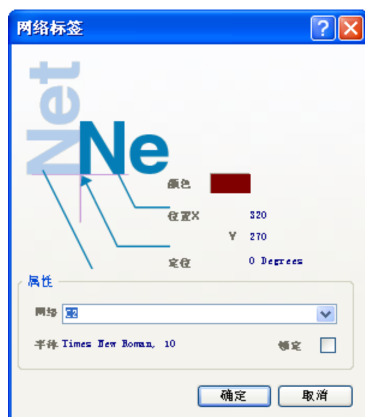



图 14-9 “网络标签”设置对话框

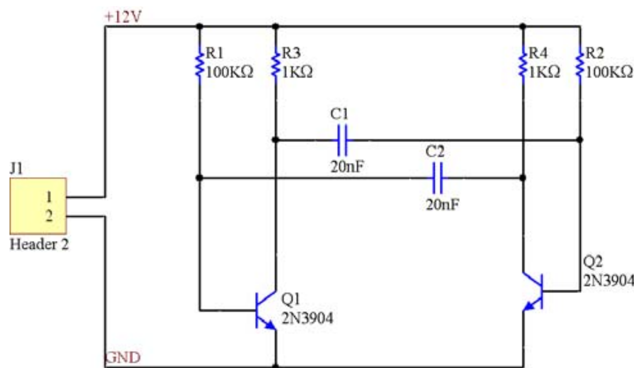



图 14-10 绘制好了的电路原理图

### 14.1.2　设置项目选项

通过编译后，可确保电路捕获正确，可准备进行仿真分析或传递到下一个设计阶段。接下来需要设置项目选项。在后面编译项目时Altium Designer 13 将使用这些设置。项目选项包括错误检查规则、连接矩阵、比较设置、ECO 启动、输出路径和网络选项以及你想指定的任何项目规则。

当项目被编译时，详尽的设计和电气规则将应用于验证设计。当所有的错误被解决后，原理图设计的再编译将被启动的ECO 加载到目标文件，例如一个PCB 文件。项目比较允许你找出源文件和目标文件之间的差别，并在相互之间进行更新。

执行菜单命令“工程”→“工程参数”，出现如图14-11所示“Options for Project（工程选项）” 对话框。

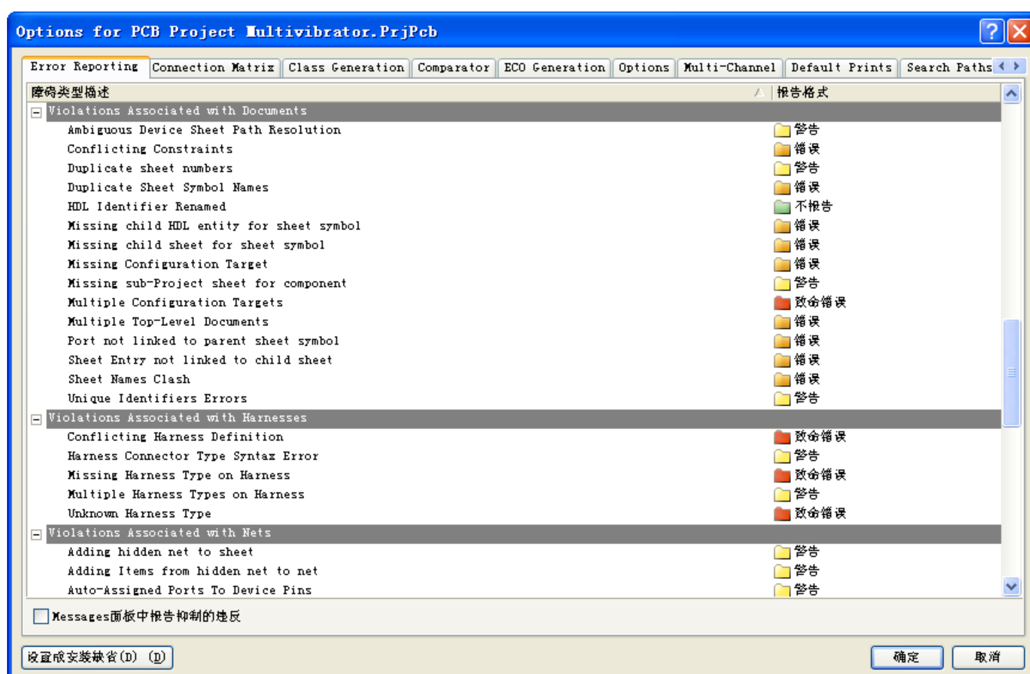



图 14-11　“Options for Project ”对话框

所有与项目相关的选项均通过这个对话框来设置。

原理图包含关于电路连接的信息，可以用连接检查器来验证设计。当编译项目时，Altium Designer 13 将根据在“Error Reporting（错误报表）”和”Connection Matrix（连接矩形）”标签中的设置来检查错误，错误发生后则会显示在“Messages（信息）”面板上。

对话框中的“Error Reporting（错误报表）” 标签用于设置设计草图检查。“Report Mode（报表模式）” 表明违反规则程度。单击所要修改的规则旁边的图标，从下拉菜单中选择严格的程度，如图14-12 所示。本例中这一项使用默认设置。

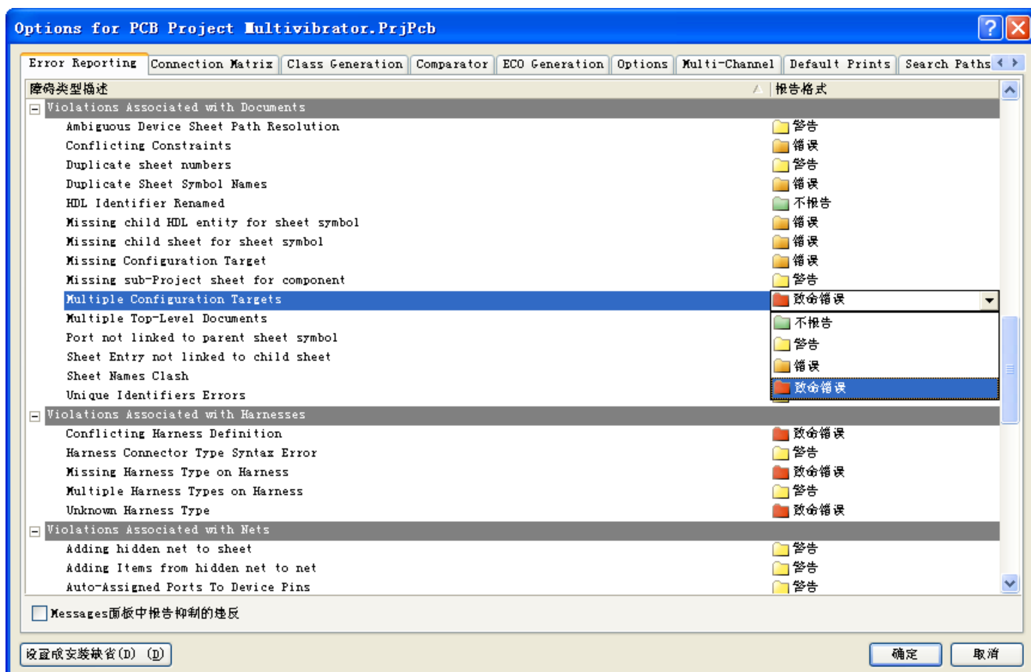



图 14-12 修改“Report Mode”

修改连接错误的步骤如下：

Step1 单击“Options for Project（工程选项）”对话框的“Connection Matrix（连接矩阵）”标签，如图14-13所示。

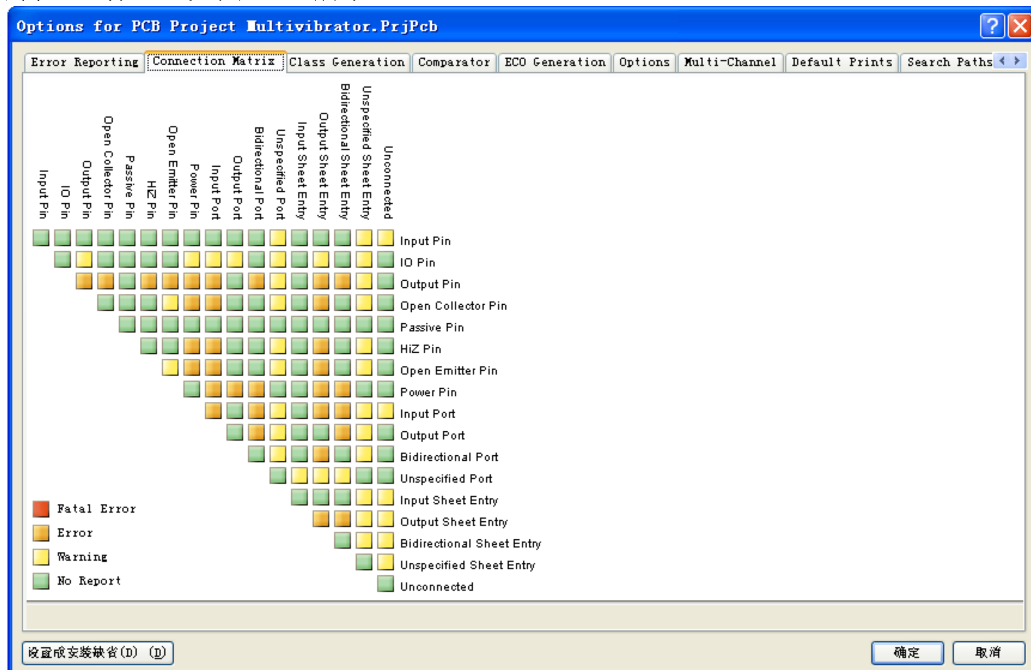



图 14-13 “Connection Matrix” 标签

Step2 单击两种类型的连接的相交处的方块，例如“Output Sheet Entry（输出原理图入口）”与“Open Collector Pin（打开电极引脚）”。

Step3 在方块变为图例中的errors 表示的颜色时停止单击，例如一个橙色方块表示一个错误将表明这样的连接是否被发现。

电路不只包含“Passive Pins（在电阻、电容和连接器上）”和“Input Pins（在晶体管上）”。检查连接矩阵是否会侦测出未连接的Passive Pins。可以按如下步骤进行：

Step1 在行标签中找到“Passive Pin（在电阻、电容和连接器上）”，在列标签中找到“Unconnected”。它们的相交处的方块表示在原理中当一个“Passive Pin（在电阻、电容和连接器上）”被发现未连接时的错误条件。默认是一个绿色方块，表示运行时不给出报告。

Step2 单击这个相交处的方块，直到它变为黄色，这样当修改项目时，未连接的“Passive Pins（在电阻、电容和连接器上）”被发现时就会给出警告，如图14-14所示。

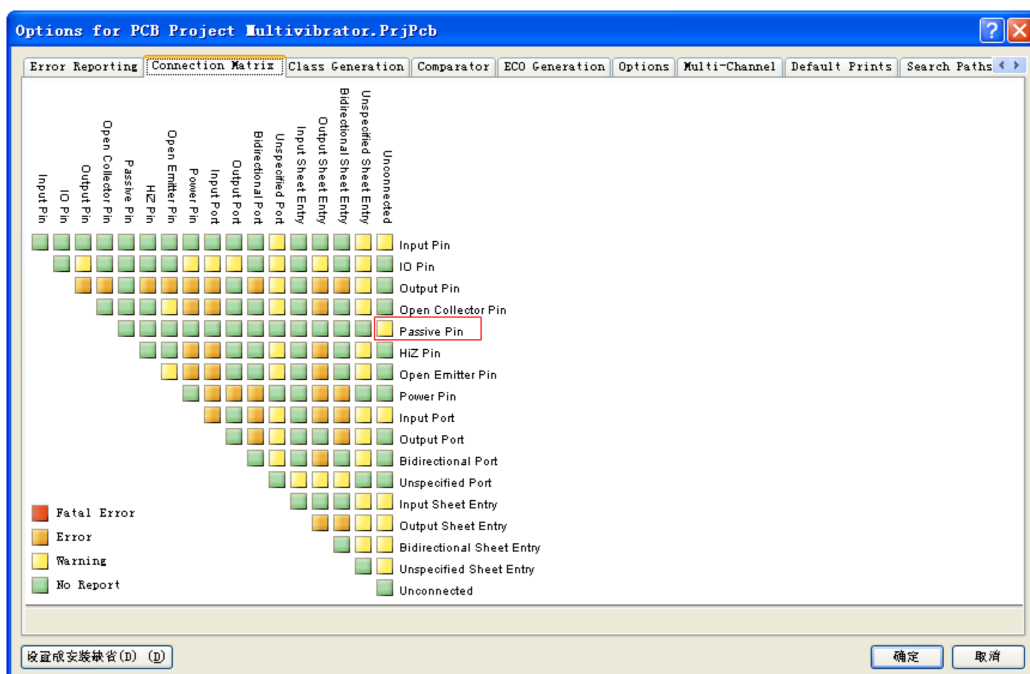



图 14-14 “Connection Matrix” 标签

Step3 单击“Comparator（比较器）” 标签，在“Difference Associated with Components”单元找到“Changed Room Definitions”、“Extra Room Definitions” 和“Extra Component Classes”，从这些选项右边的Mode 列中的下拉列表中选择Ignore Differences，如图14-15所示。

完成了原理图的设计，可以利用原理图进行电路的仿真和布板前的信号完整性分析。

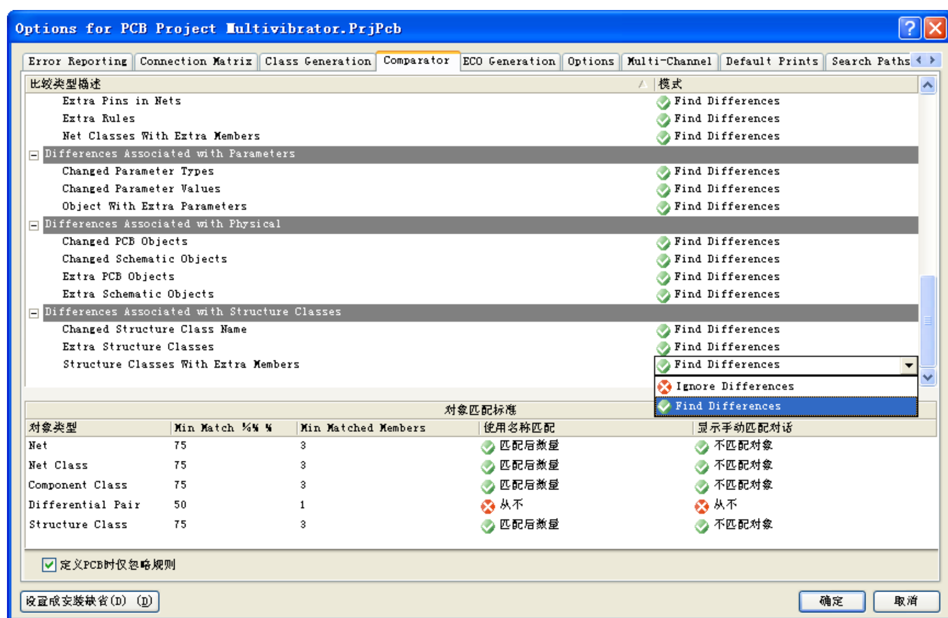



图 14-15　“Comparator” 标签

## 14.1.3　仿真前准备

在运行仿真之前，需要添加一些物件到电路中：振荡器的电压源；用于仿真的参考地和一些读者希望查看波形的电路点的网络标签。可以按照如下步骤操作：

Step1 单击窗口顶部的“Multivibrator.SchDoc” 使原理图文件为当前文档。

Step2 必须再放置一个有电压源的连接器。要删除连接器，在连接器体上单击一次选取它，然后按Delete键。

Step3 在库面板上选择“Simulation Source.IntLib ”，如图14-16所示。然后在下面选择“VSRC”，双击则一个电源符号将悬浮在光标上。按Tab 键编辑其属性。在出现的对话框中，设置“Designator（标识符）”为V1。

单击OK按钮关闭对话框，然后将这个电源放在12V 和GND 导线的垂直端点之间。拉动导线，使导线和电源连接上。

在运行仿真之前最后的任务是在电路的合适的点放置网络标签，这样可以很容易地认出读者希望查看的信号。在本例教程电路中，较好的点是两个晶体管的基极和集电极。

Step1 从菜单选择“放置”→“网络标号”（快捷键P，N）。按Tab键编辑网络标签的属性。在“网络标签”对话框，设置“网络”栏为Q1B，然后关闭对话框。如图 14-17所示。

Step2 将光标放在与Q1 基极连接的导线上。左击或按Enter 将网络标签放在导线上。

Step3 按Tab 键将Net 栏改为Q1C。将光标放在与Q1 集电极连接的导线上，左击或按Enter 将网络标签放在导线上。

Step4 同样地，将Q2B 和 Q2C 网络标签放在Q2 的基极和集电极导线上。

Step5 完成网络标签的放置后，右击或按Esc 退出放置模式。

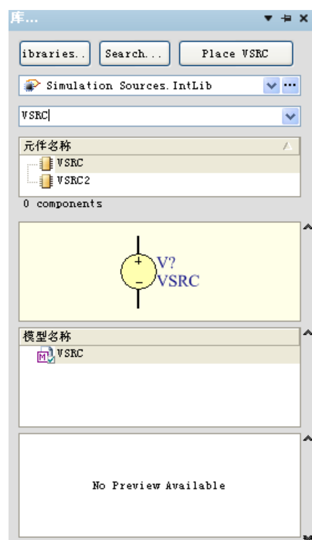



图 14-16　模拟电压源

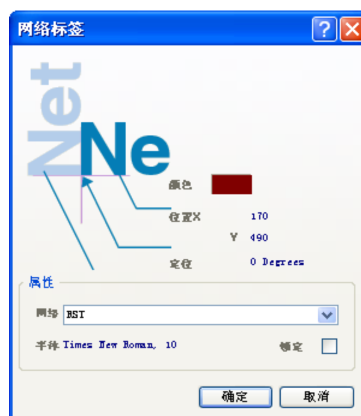



图 14-17　放置网络标签对话框

Step6 保存仿真电路为与原原理图不同的文件名，选择“文件”→“保存为” 在“Save As（另存为）” 对话框键入“SIM-Multivibrator.SchDoc”， 结果如图14-18所示。

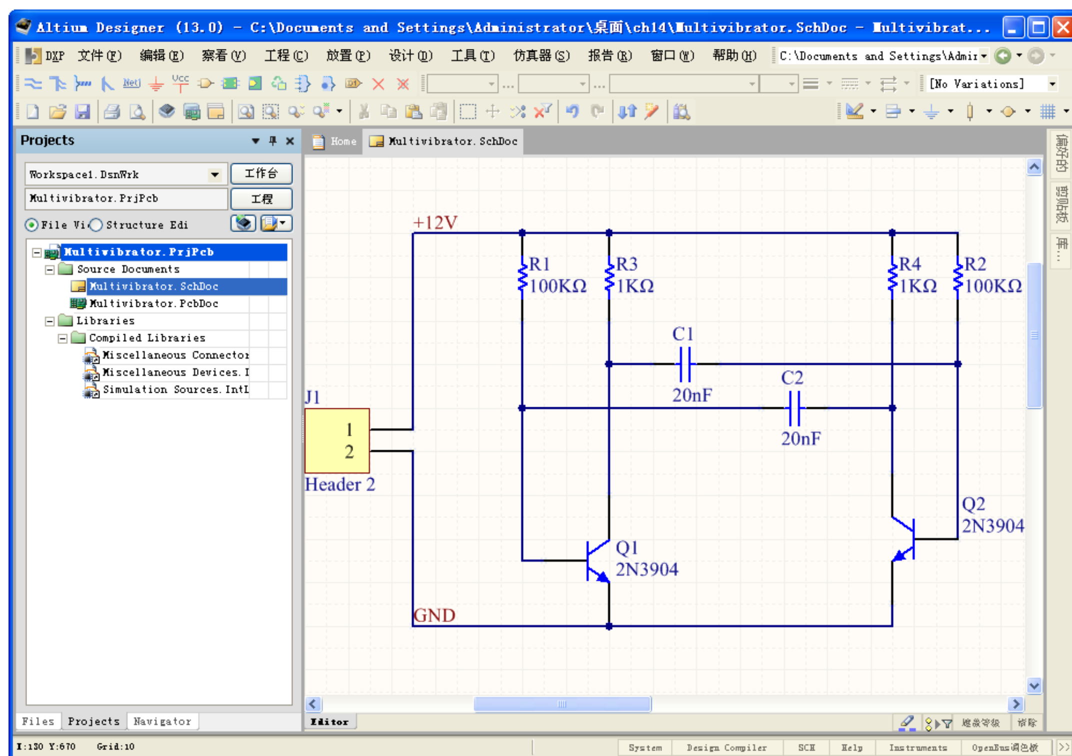



图 14-18　准备仿真的电路图

## 14.1.4 电路仿真

Step1 对电路进行仿真。执行菜单命令“设计”→“仿真”→“Mixed Sim（混合仿真）”，出现“分析设置“对话框，如图14-19所示。

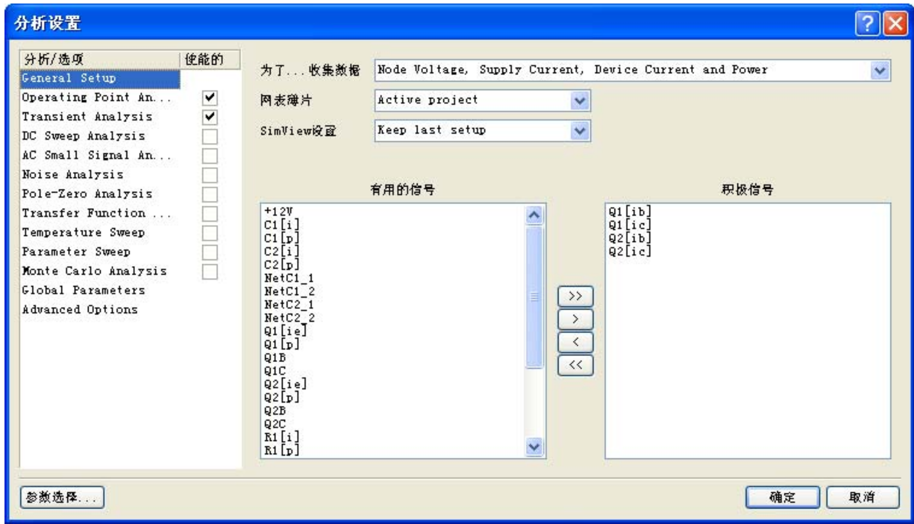



图 14-19 “分析设置”对话框

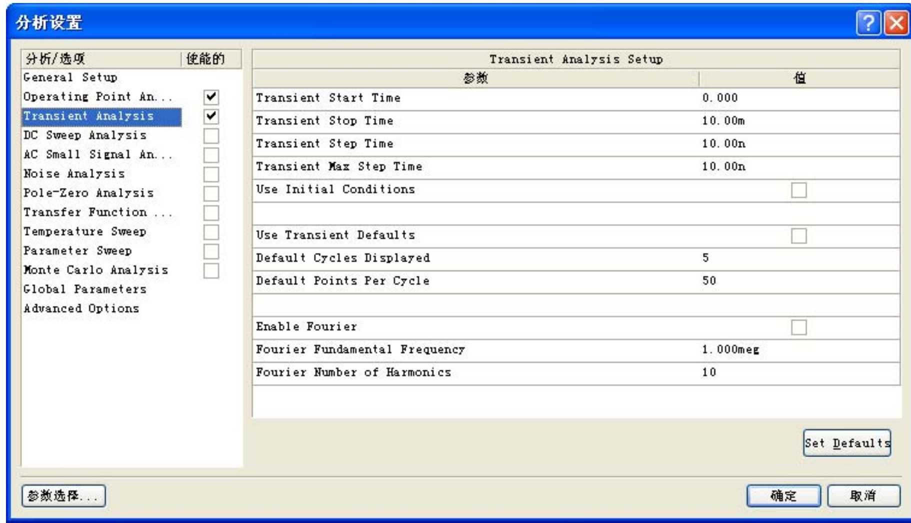



图 14-20 设置瞬态特性分析

如果要运行瞬态特性分析，勾选左侧列表中“Operating Point Analysis（操作点分析）”和“Transient（瞬变）/Fourier（傅里叶）”选项后的 Enable 框，使其有效。单击“Transient（瞬变）/Fourier（傅里叶）”，对话框右侧发生相应变化，可以设置“Transient（瞬变）/Fourier（傅里叶）”的仿真条件。在此例中，RC 时间常数为100k×20n = 2 ms 。要查看到振荡的5 个周期，就要设置看到波形的一个10ms 部分。使“Use Transient Defaults（使

用瞬变预设值）” 选项无效，可以自行定义仿真的参数。“Transient Start Time(瞬变开始时间)” 仍旧设为0，“Transient Stop Time（瞬变停止时间）” 设为10ms，“Transient Step Time（瞬变步时间）” 设为10μs，“Transient Max Step Time（瞬变最大步时间）” 设为10μs，另外不使用初始条件仿真，结果所显示的仿真周期和每周期采集点保持不变。因为不进行傅里叶仿真，就不用勾选，对其参数不用考虑。设置完成后结果如图14-20所示。

Step2 设置完成，单击“确定” 按钮，仿真会自动完成。弹出的“Message（信息）” 窗口显示仿真过程。如果没有错误，完成仿真后可以关掉它。工作区显示仿真结果，如图14-21所示。由于本例并非高速数字电路，不会出现信号完整性的问题，可以不必进行信号完整性分析。

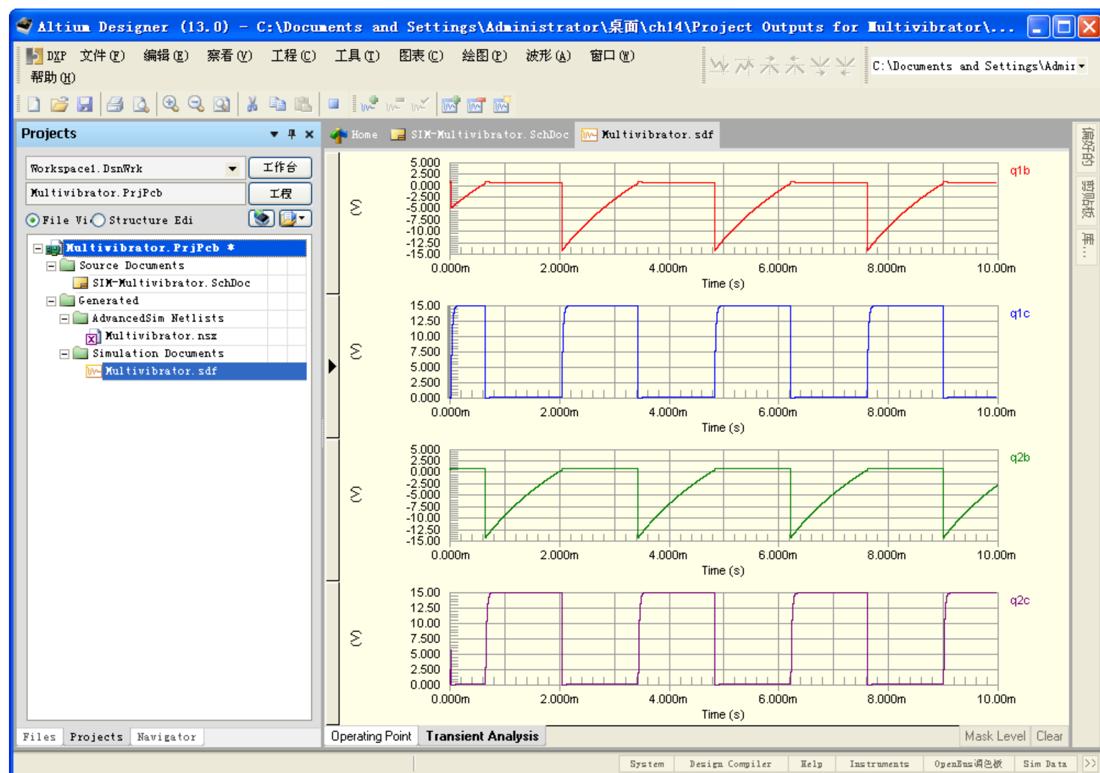



图14-21 仿真结果

## 14.2 创建 PCB 文件

电路原理图设计完成后，紧接着就要设计电路板，首先新建一个电路板文件，并在新PCB里绘制板框，而新建PCB 文件与绘制板框的方法在前述PCB 设计相关章节已经介绍过，在此仅要点提示。

## 14.2.1 创建一个新的 PCB 文件

在将设计从原理图编辑器转换到PCB 编辑器之前，需要创建一个有最基本的板子轮廓的空白PCB。在Altium Designer 13 中创建一个新的PCB 设计的最简单方法是使用PCB 向导，这将让你选择工业标准板轮廓又创建了自定义的板子尺寸。

在向导的任何阶段，都可以使用Back 按钮来检查或修改以前页的内容。要使用PCB 向导来创建PCB，可以按照以下步骤：

Step1 在“Files（文件）”面板的底部的“New from Template（新建模板）”单元单击PCB Board Wizard 创建新的PCB。如果这个选项没有显示在屏幕上，点向上的箭头图标关闭上面的一些单元，如图14-22所示。

Step2 打开“PCB Board Wizard（PCB板向导）”。首先看见的是介绍页，如图14-23所示。




图 14-22 “PCB Board Wizard”命令




图 14-23 “PCB 板向导”首页

Step3 点“Next（下一步）”按钮继续。设置度量单位为英制（Imperial）。注意，1000 mils = 1 inch，如图14-24所示。

Step4 向导的第三页允许选择要使用的板轮廓。在本例中使用自定义的板子尺寸。从板轮廓列表中选择“Custom”，单击“Next（下一步）”，如图14-25所示。

Step5 再下一页进入自定义板选项，如图14-26所示。在本例子电路中，一个2×2 inch的板子对于这个电路足够了。选择“Rectangular” 并在Width 和Height 栏键入2000。取消选择Title Block & Scale、Legend String 和 Dimension Lines 以及 Corner Cutoff 和 Inner Cutoff。单击Next 继续。

Step6 在此页允许选择板子的层数，如图14-27所示。这个实例中需要两个Signal Layer，不需要Power Planes。单击Next 继续。




图 14-24　设置度量单位

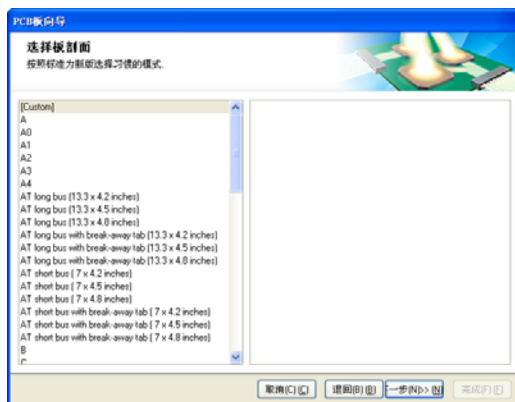



图 14-25　选择要使用的板轮廓

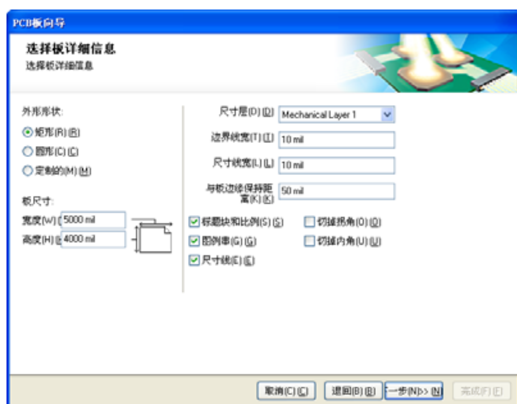



图 14-26　自定义板选项对话框

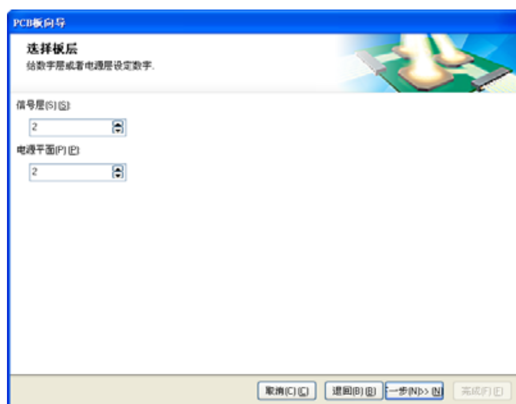



图 14-27　选择板子的层数对话框

Step7 在设计中使用的过孔（Via）样式选择Thru-hole Vias only，单击Next，如图14-28所示。

Step8 此对话框是让选择器件和Routing 技术。是否把器件布置在Board 的两面，即双面板。在这里选择默认设置即可，如图14-29所示。然后单击Next进入下一个对话框。

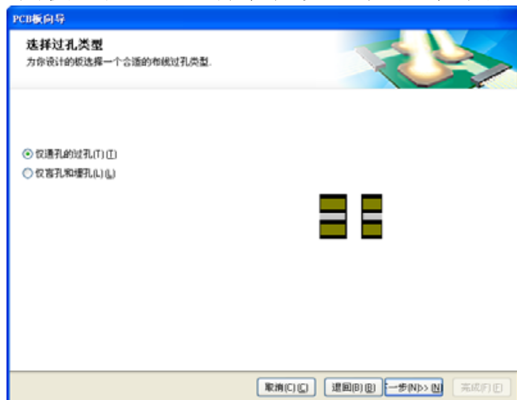



图 14-28　选择 Via 的样式




图 14-29　选择器件和 Routing 技术

Step9 这个对话框可以选择默认的“Track（轨迹）”和“Via（过孔）”的大小，图中的蓝色数字都是可以修改的数字，保持默认即可，如图14-30所示。然后单击Next 进入下一个对话框。

Step10 进入向导的最后一页，如图14-31所示。然后单击Finish 结束向导，生成的PCB文件如图14-32所示。




图 14-30　选择默认的 Track 和 Via 大小对话框

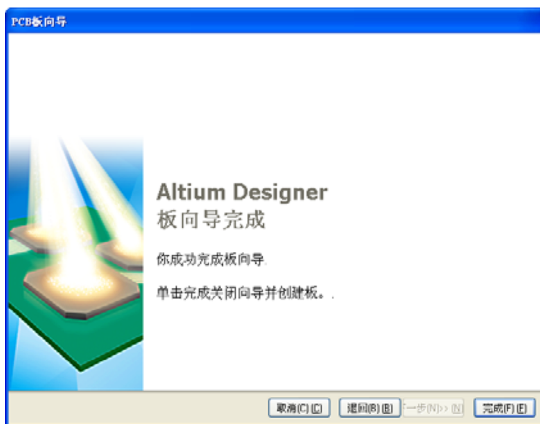



图 14-31　完成向导对话框

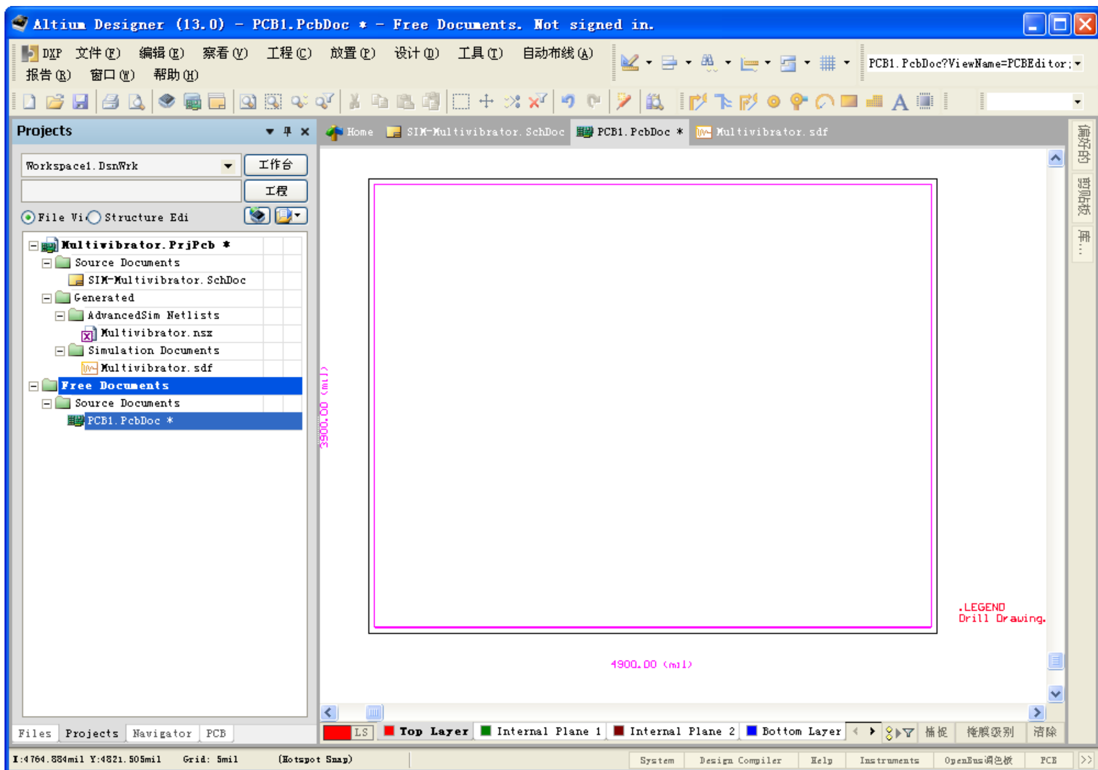



图 14-32　生成的 PCB 文件

### 14.2.2 资料转移

绘制好板框后，随机启动“设计”菜单下的“Import Changes From Multivibrator.PRJPCB（从原理图输入变化）”命令，屏幕出现图14-33所示的“工程更改顺序”对话框。

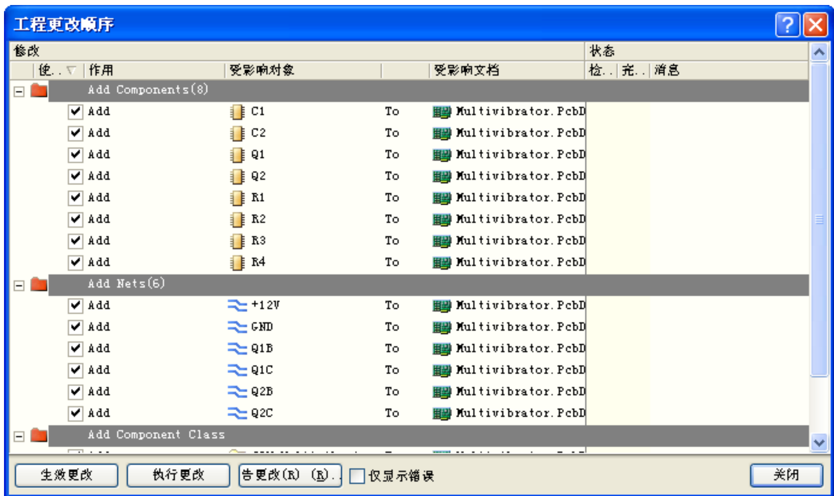



图 14-33　数据更新对话框

Step1 按生效更改进行验证，程序将验证结果显示在“检查”字段，如图14-34所示。

Step2 按执行更改进行数据更新，结果显示在“完成”字段，如图14-35所示。

Step3 按关闭按钮关闭此对话框，而电路图数据已转入电路板，如图14-36所示。

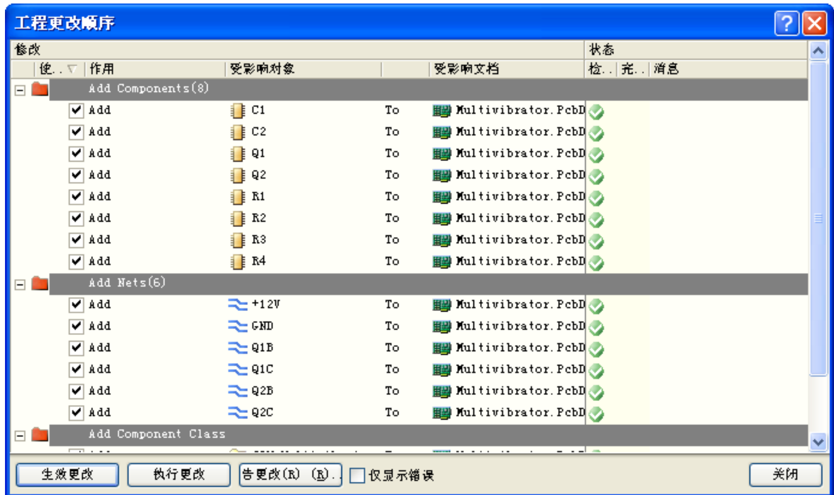



图 14-34　数据验证

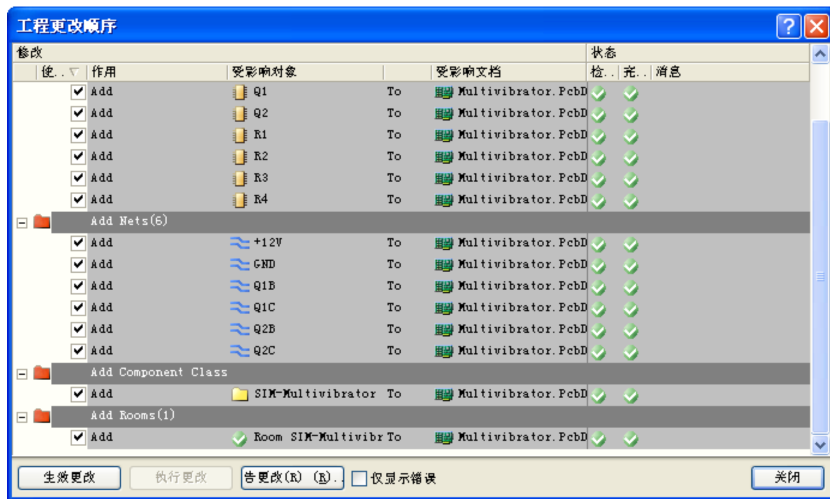



图 14-35　数据更新

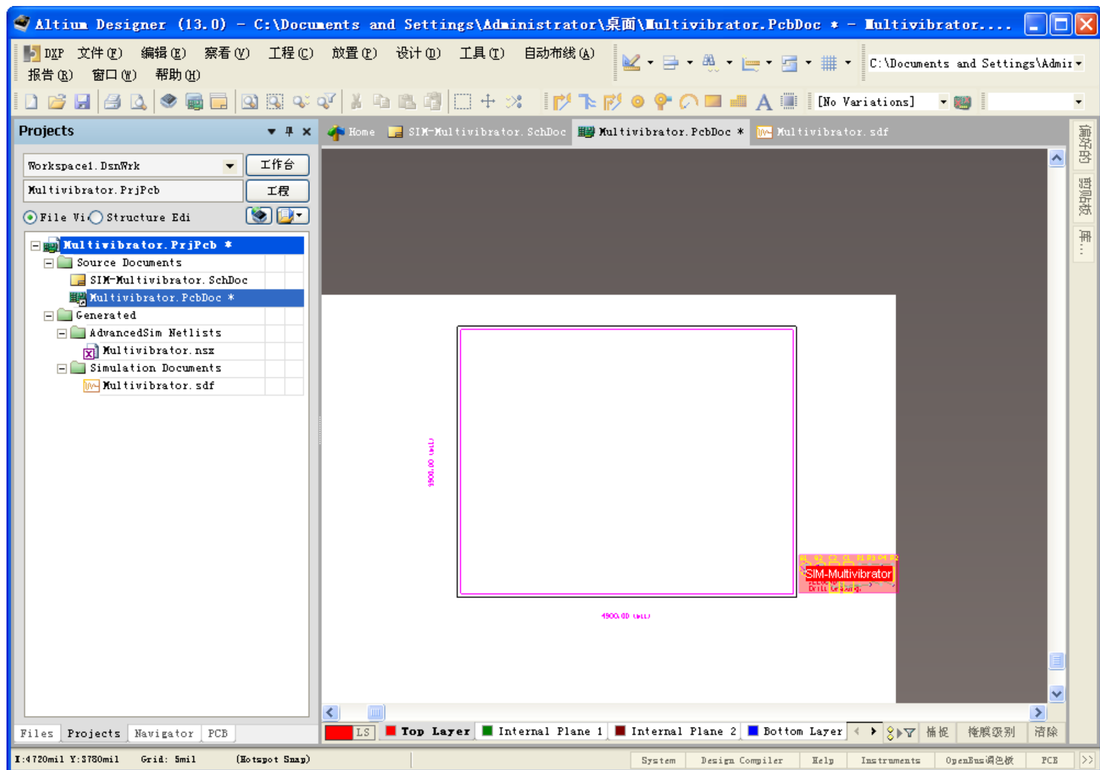



图 14-36　数据转入电路板

# 14.3　电路板设计

现在可以安心设计电路板了。同样的，设计电路板的第一步还是布置零件，而本章的电路更可按电路图上零件的相应位置来摆放零件。另外，像这么简单的电路，直接采用单层板布线也可以。

## 14.3.1　零件布置

零件布置分为两个阶段，第一个阶段是利用程序所提供的零件摆置区间功能进行零件的粗排；第二个阶段当然是手工布置零件。

Step1 指向右下方的零件摆置区域，按住鼠标左键不放，即将抓住改零件摆置区域，将它移至板框内部，并拖曳此零件摆置区域四周的控点以调整其大小，如图14-37所示。

Step2 按下“Delete（删除）” 键删除零件摆置区域，如图14-38所示。

Step3 以手工调整零件位置与方向，至于零件上的文字，将随零件方向的调整而自动调整，如图14-39所示为零件布置结果。

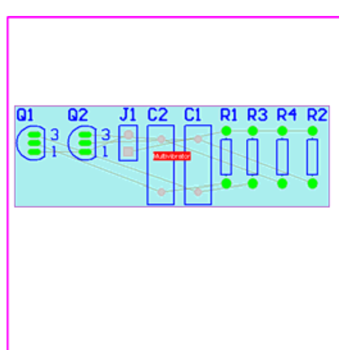


图 14-37　区域内零件布置

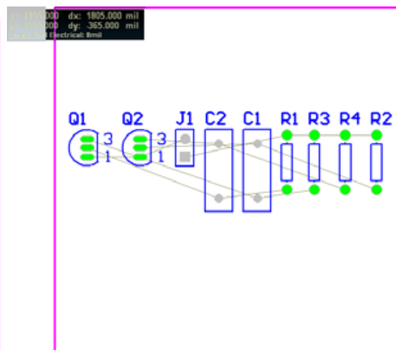


图 14-38　删除零件摆置区域

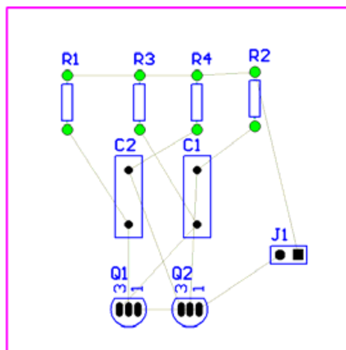


图 14-39　完成零件布置

## 14.3.2　电路板布线

Step1 启动“自动布线”菜单下的“全部”命令，然后在随机出现的对话框（如图14-40所示）里按 Route All 按钮，即进行全面性的自动布线，不一会儿即完成布线，如图14-41所示。

Step2 才几条线，不到1s就100% 完成布线，“Messages（信息）” 窗口挡住图纸，按其右上方的按钮关闭“Messages（信息）”窗口，如图14-42所示。

Step3 布线质量还算不错，所以不再手工修改走线了。不过，刚才随便画的板框不是很好，可以删除原来的板框，在重新绘制板框。这里不再演示，请读者自己完成。

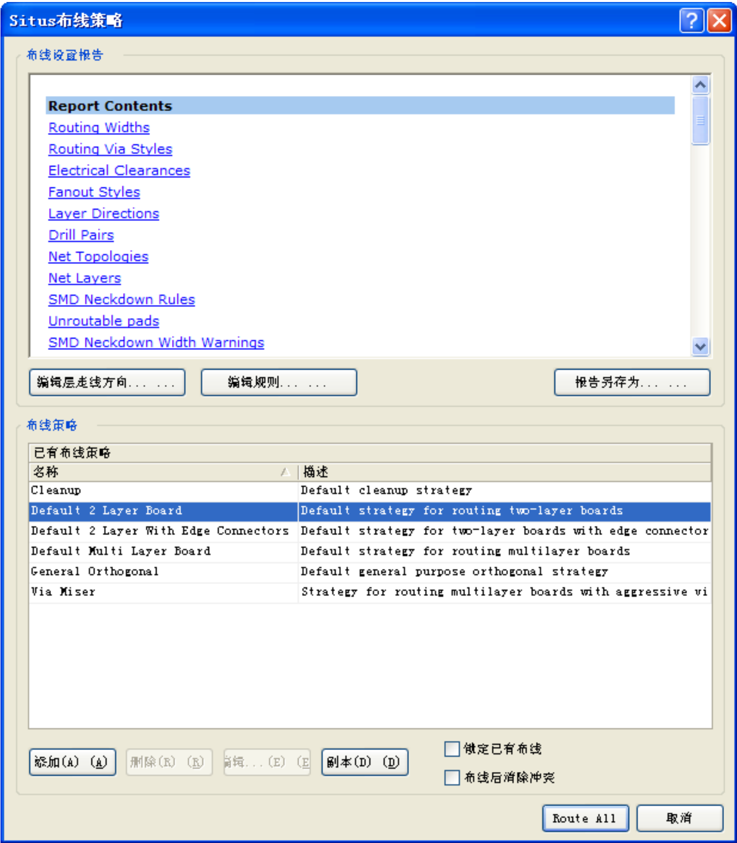
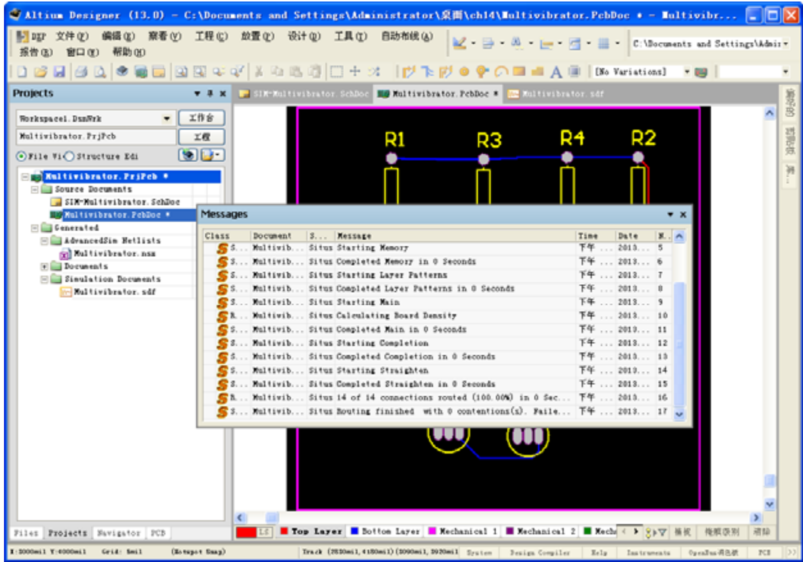



图 14-40 “Situs 布线规则” 对话框



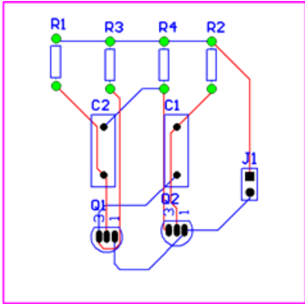




图 14-41 完成自动布线　　　　图 14-42 关闭 Message 窗口

# 第 15 章

# 游戏机电路设计实例

随着电子技术、计算机技术、自动化技术的飞速发展，电子电路设计师所要绘制的电路原理图越来越复杂，有时工程技术人员也很难看懂。另一方面，由于网络的普及，对于复杂的电路图一般都采用网络多层次并行开发设计，这样可以极大地加快设计进程。Altium Designer 13 完全支持并提供了强大的层次原理图设计功能，在同一个项目工程中，可以包含无限分层深度的无限多张原理图。本章主要介绍层次原理图的设计方法，并融合在实例中为读者讲述设计的技巧。

本章利用层次原理图的设计方法设计电子游戏机电路，涉及到的知识点包括层次原理图设计方法和生成元件报表，以及文件组织结构等。

## 知识点

- 原理图的绘制
- 层次原理图间的切换
- 电路板的设计

# 15.1　实例设计说明

本章采用的实例是游戏机电路。游戏机电路是一个大型的电路系统，包括中央处理器电路、图形处理器电路、接口电路、射频调制电路、制式转换电路、电源电路、时钟电路、光电枪电路、控制盒电路、游戏卡电路 10 个电路模块。下面分别介绍各电路模块的原理及其组成结构。

## 15.1.1　中央处理器

CPU 是游戏机的核心。图 15-1 所示为某种游戏机的 CPU 基本电路，包含 CPU6527P、SRAM6116 和译码器 SN74LS139N 等元件。CPU 6527P 是 8 位单片机，有 8 条数据线、16 条地址线，寻址范围为 64KB。其高位地址经 SN74LS139N 译码后输出低电平有效的选通信号，用于控制卡内 ROM、RAM、PPU 等单元电路的选通。

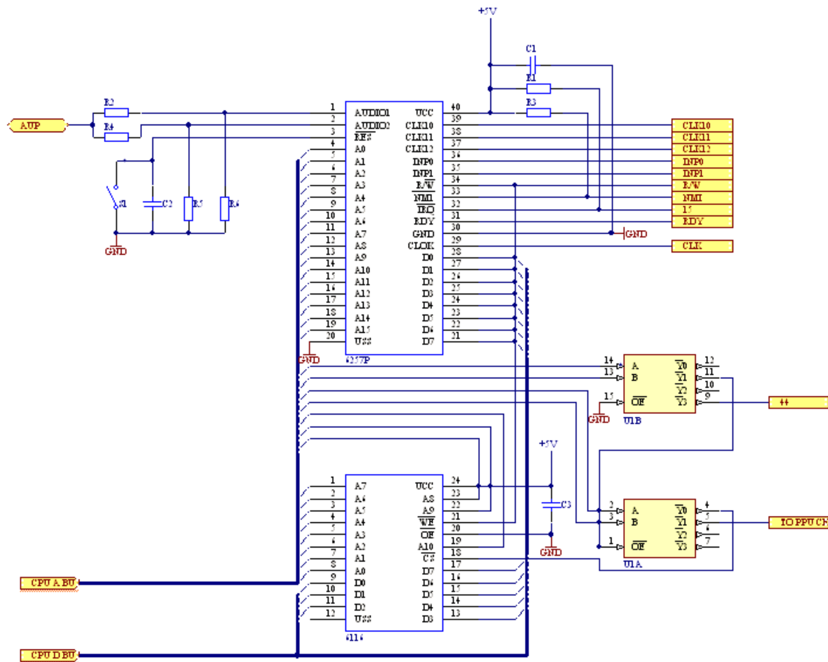


图 15-1　某种游戏机的 CPU 基本电路

## 15.1.2　图形处理器

图形处理器 PPU 电路是专门为处理图像设计的 40 脚双列直插式大规模集成电路，如图 15-2 所示。它包含图像处理芯片 PPU6528、SRAM6116 和锁存器 SN74LS373N 等元件。PPU6528 有 8 条数据线 D0～D7、3 条地址线 A0～A2、8 条数据/地址复用线 AD0～AD7。复用线加上 PA8～PA12 可形成 13 位地址，寻址范围为 8KB。

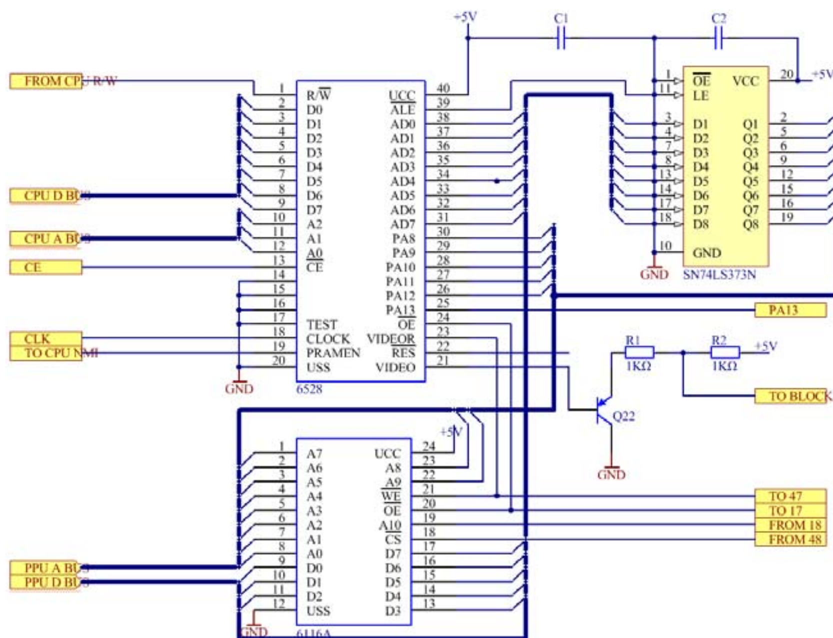



图 15-2　图形处理器 PPU 电路

## 15.1.3　接口电路

接口电路作为游戏机的输入/输出接口，接受来自主、副控制盒及光电枪的输入信号，并在 CPU 的输出端 INP0 和 INP1 的协调下，将控制盒输入的信号送到 CPU 的数据端口，如图 15-3 所示。

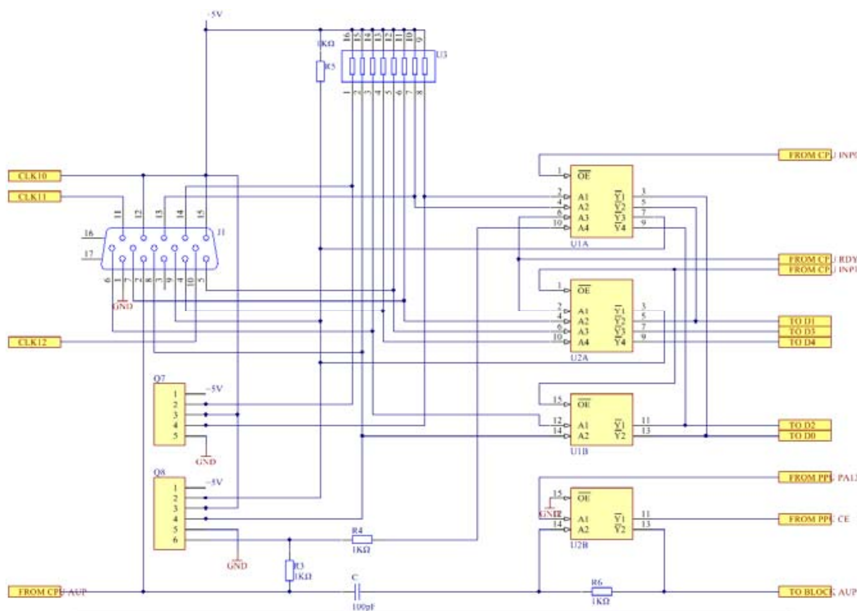



图 15-3　接口电路

## 15.1.4　射频调制电路

由于我国的电视信号中图像载频比伴音载频低 6.5MHz，故需先用伴音信号调制 6.5MHz 的等幅波，然后与 PPU 输出的视频信号一起送至混频电路，对混合图像载波振荡器送来的载波进行幅度调制，形成 PAL-D 制式的射频调制电路，如图 15-4 所示。

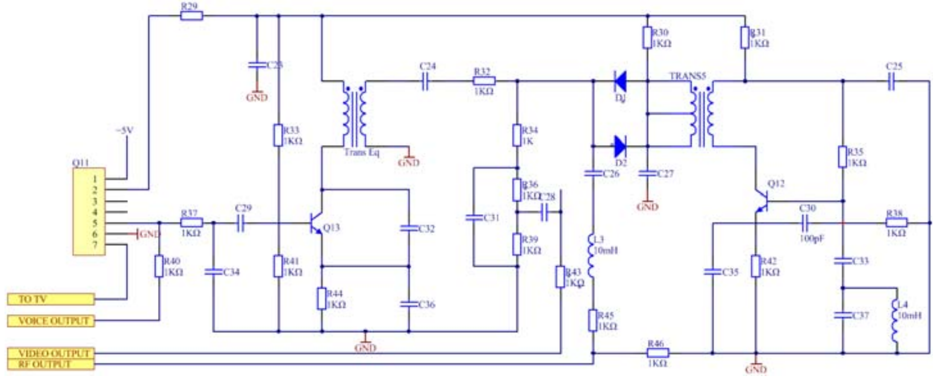



图 15-4　射频调制电路

## 15.1.5　制式转换电路

有些游戏机产生的视频信号为 NTSC 制式，需将其转换成我国电视信号使用的 PAL-D 制式才能正常使用。两种制式行频差别不大，可以正常同步，但场频差别太大，不能同步，颜色信号载波频率与颜色编码方式也不同。制式转换电路主要完成场频和颜色信号载波频率的转换。

如图 15-5 所示为制式转换电路，该电路中采用了 TV 制式转换芯片 MK5060 和一些通用的阻容元件。来自 PPU 的 NTSC 制电视信号经输入端，分 3 路分别进行处理。处理完毕后，将此 3 路信号叠加，就形成了 PAL-D 制全电视信号，并送往射频调制电路。

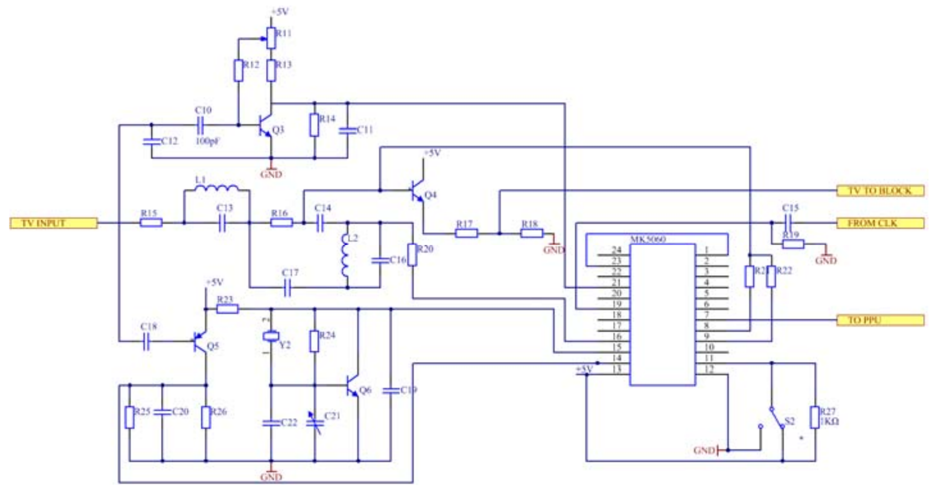



图 15-5　制式转换电路

### 15.1.6　电源电路

电源电路包括随机整理电源和稳压电源两个部分，如图 15-6 所示。首先由变压器、整流桥和滤波电容将 220V 交流电转换为 10～15V 直流电压，然后利用三端稳压器 AN7805 和滤波电容，将整流电源提供的直流电压稳定在 5V。

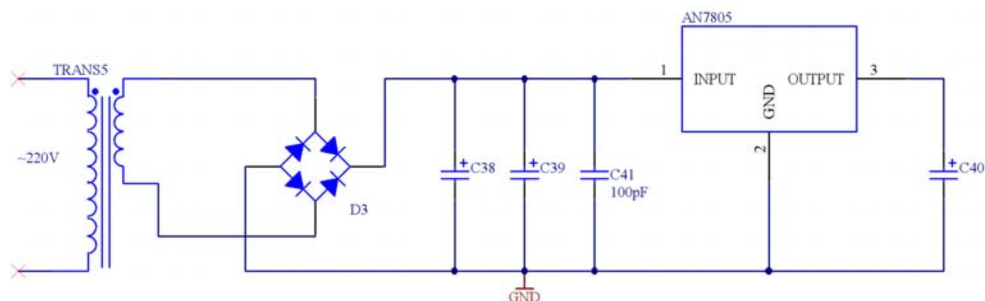



图 15-6　电源电路

### 15.1.7　时钟电路

时钟电路产生高频脉冲作为 CPU 和 PPU 的时钟信号，如图 15-7 所示。TX 为石英晶体振荡器，它决定电路的振荡频率。游戏机中常用的石英晶体振荡器有 21.47727MHz、21.251465MHz 和 26.601712MHz 三种工作频率。选用时要依据 CPU 和 PPU 的工作特点而定。

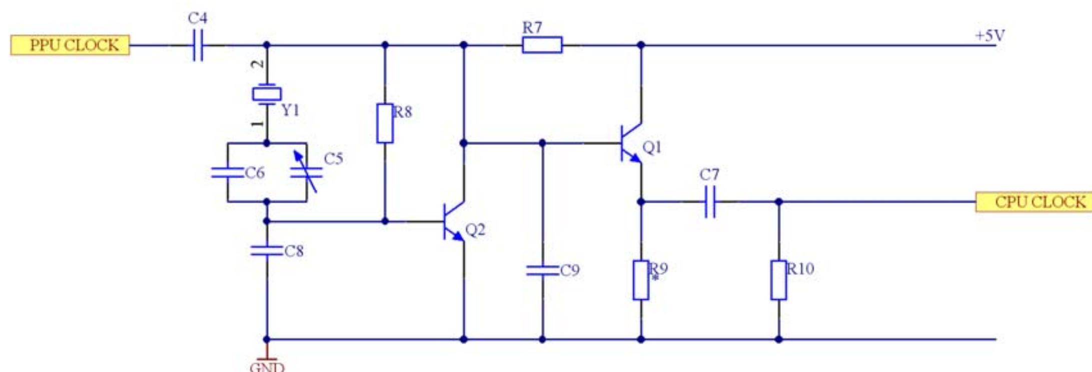



图 15-7　时钟电路

### 15.1.8　光电枪电路

射击目标即目标图形，位置邻近的目标图形实际上是依据对正光强频率敏感程度的差别进行区分的。目标光信号经枪管上的聚光镜聚焦后投射到光敏三极管上，将光信号转变成电信号，然后经选频放大器对其进行放大，并经 CD4011BCN 放大整形后，产生正脉冲信号，最后通过接口电路送到 CPU，如图 15-8 所示。

## 15.1.9 控制盒电路

控制盒就是操作手柄，游戏机主、副两个控制盒的电路基本相同，其区别主要是副控制盒没有选择（SELECT）和启动（START）键。

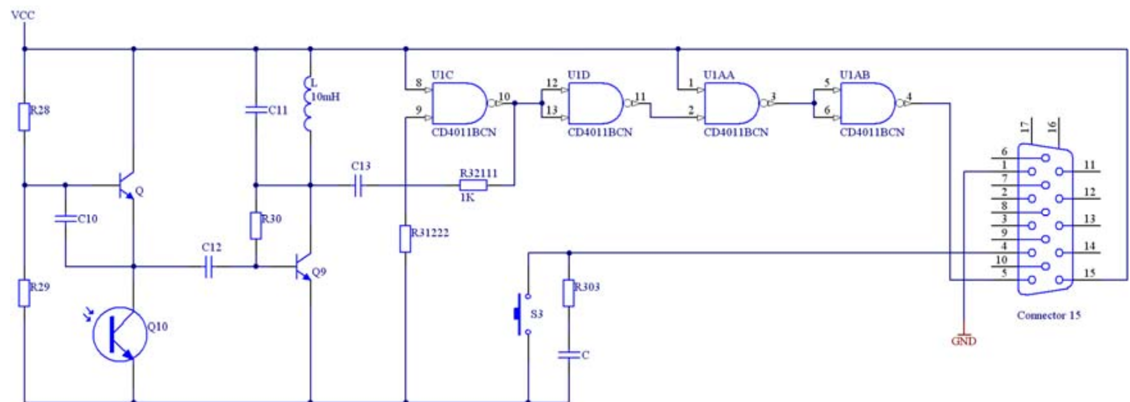



图 15-8 光电枪电路

控制盒电路如图 15-9 所示。NE555N 集成电路和阻容元件组成自激多谐振荡电路，产生连续脉冲信号；SK4021B 是采用异步并行输入、同步串行输入/串行输出移位寄存器，它将所有按键闭合时产生的负脉冲经接口电路送往 CPU，CPU 将按游戏者按键命令控制游戏运行。

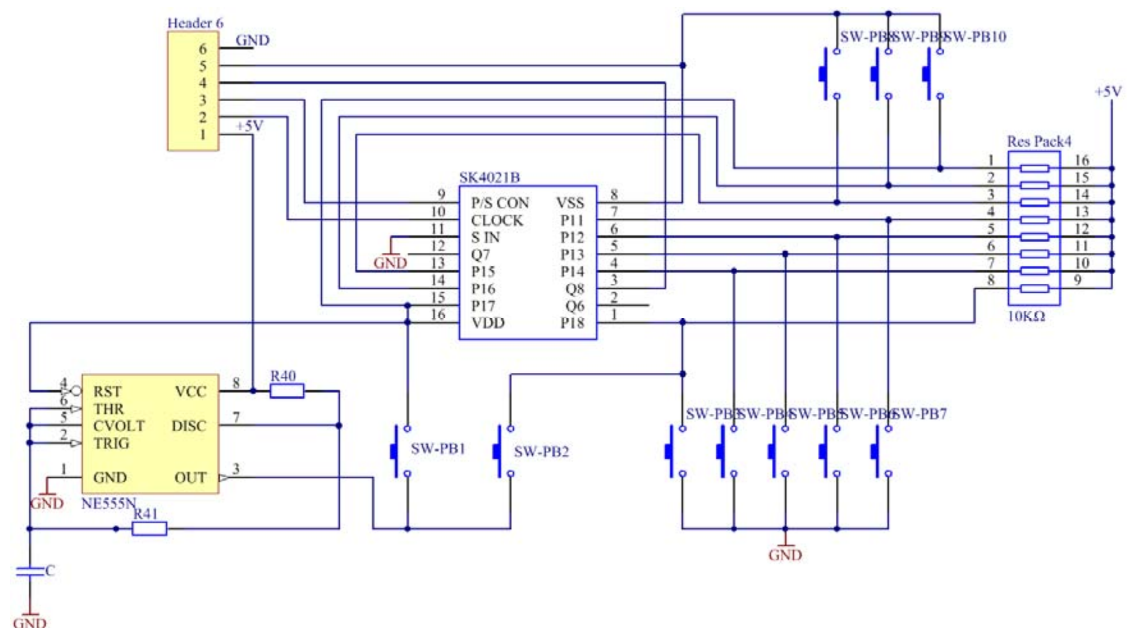



图 15-9 控制盒电路

# 15.2　创建项目文件

单击菜单栏中的“文件”→“New（新建）”→“Project（工程）”→“PCB 工程（印制电路板文件）”命令，新建一个项目文件。然后单击菜单栏中的“文件”→“保存工程为”命令，将新建的项目文件另存在 Example 文件夹中，并命名为“Electron Game Circuit.PrjPCB”。

# 15.3　原理图输入

由于该电路规模较大，因此采用层次化设计。本节先详细介绍基于自上而下设计方法的设计过程，然后再简单介绍自下而上设计方法的应用。

## 15.3.1　绘制层次结构原理图的顶层电路图

Step1 在“游戏机电路.PrjPCB”项目文件中，单击菜单栏中的“文件”→“New（新建）”→“原理图”命令，新建一个原理图文件。然后单击菜单栏中的“文件”→“保存为”命令，将新建的原理图文件另存在 Example 文件夹中，并命名为“Electron Game Circuit.SchDoc”。

Step2 单击“连线”工具栏中的 （放置图纸符号）按钮或单击菜单栏中的“放置”→“图表符”命令，此时光标将变为十字形状，并带有一个原理图符号标志，单击完成原理图符号的放置。双击需要设置属性的原理图符号或在绘制状态时按 Tab 键，系统将弹出如图 15-10 所示的“方块符号”对话框，在该对话框中进行属性设置。双击原理图符号中的文字标注，系统将弹出如图 15-11 所示的“方块符号指示者”对话框，进行文字标注。重复上述操作，完成 9 个原理图符号的绘制。完成属性和文字标注设置的层次原理图顶层电路图如图 15-12 所示。

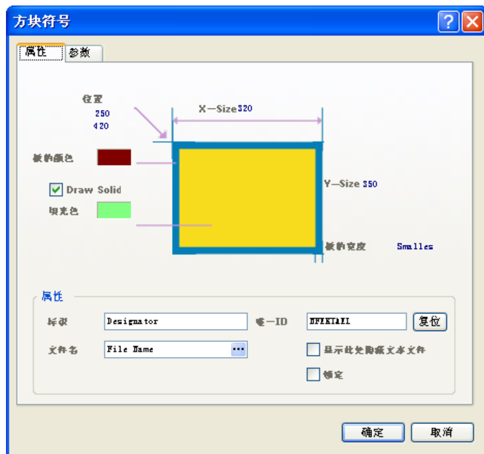



图 15-10　“方块符号”对话框




图 15-11　“方块符号指示者”对话框

Step3 单击“连线”工具栏中的 （放置原理图端口）按钮或单击菜单栏中的“放置”→“添加图纸入口”命令，放置电路端口。双击电路端口或在放置端口命令状态时按 Tab 键，系统将弹出如图 15-13 所示的“方块入口”对话框，在该对话框中可以进行方向属性的设置。完成端口放置后的层次原理图顶层电路图如图 15-14 所示。

Step4 单击“连线”工具栏中的 （放置线）或者 （放置总线）按钮，放置导线，完成连线操作。其中 （放置线）按钮用于放置导线， （放置总线）按钮用于放置总线。完成连线后的层次原理图顶层电路图如图 15-15 所示。




图 15-12 完成属性和文字标注设置的层次原理图顶层电路图




图 15-13 “方块入口”对话框

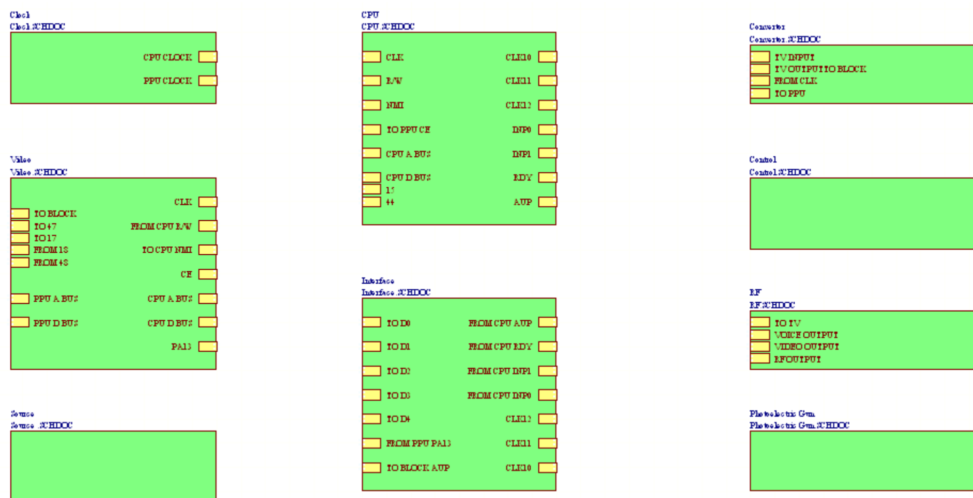


图 15-14　完成端口放置后的层次原理图顶层电路图

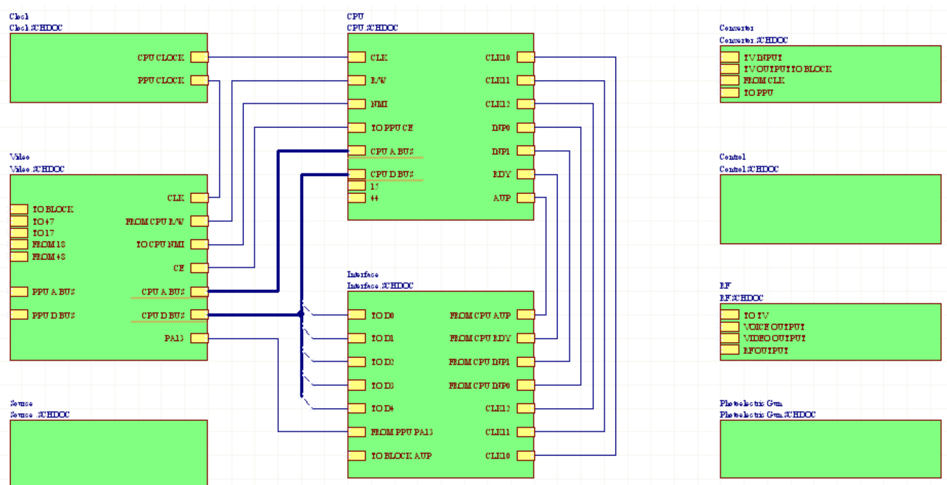


图 15-15　完成连线后的层次原理图顶层电路图

## 15.3.2　绘制层次结构原理图子图

下面逐个绘制电路模块的原理图子图，并建立原理图顶层电路图和子图之间的关系。

1．中央处理器电路模块设计

在顶层电路图工作界面中，单击菜单栏中的“设计”→“产生图纸”命令，此时光标将变为十字形状。将十字光标移至原理图符号“CPU”内部，单击，系统自动生成文件名为“CPU.SCHDOC”的原理图文件，且原理图中已经布置好了与原理图符号相对应的 I/O 端口，如图 15-16 所示。

下面在生成的 CPU.SCHDOC 原理图中进行子图的设计。

Step1 放置元件。该电路模板中用到的元件有6527P、6116、SN74LS139N和一些阻容元件。将通用元件库“Miscellaneous Device.IntLib”中的阻容元件放到原理图中，将“ON Semi Logic Decoder Demux.IntLib”元件库中的SN74LS139N放到原理图中。




图15-16　生成的CPU.SCHDOC文件

Step2 编辑元件6527P和6116。编辑6527P和6116元件的方法可参考以前章节的相关内容，这里不再赘述。编辑好的6527P和6116元件分别如图15-17和图15-18所示。完成元件放置后的CPU原理图如图15-19所示。

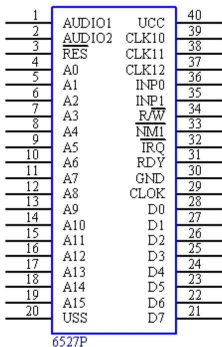



图15-17　编辑好的6527P元件

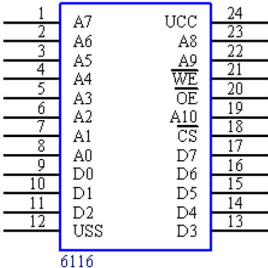
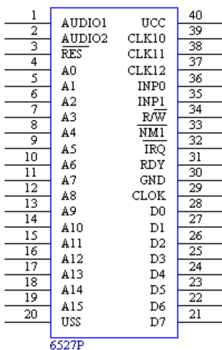
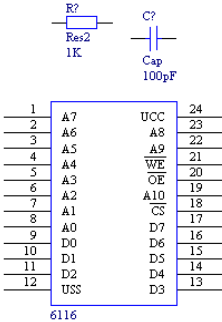



图15-18　编辑好的6116元件



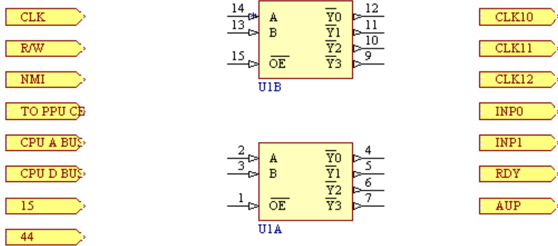




图15-19　完成元件放置后的CPU原理图

Step3 元件布局。先分别对元件的属性进行设置，再对元件进行布局。单击“连线”工具栏中的 （放置线）按钮，执行连线操作。完成连线后的 CPU 子模块电路图如图 15-20 所示。单击“原理图标准”工具栏中的 （保存）按钮，保存 CPU 子原理图文件。

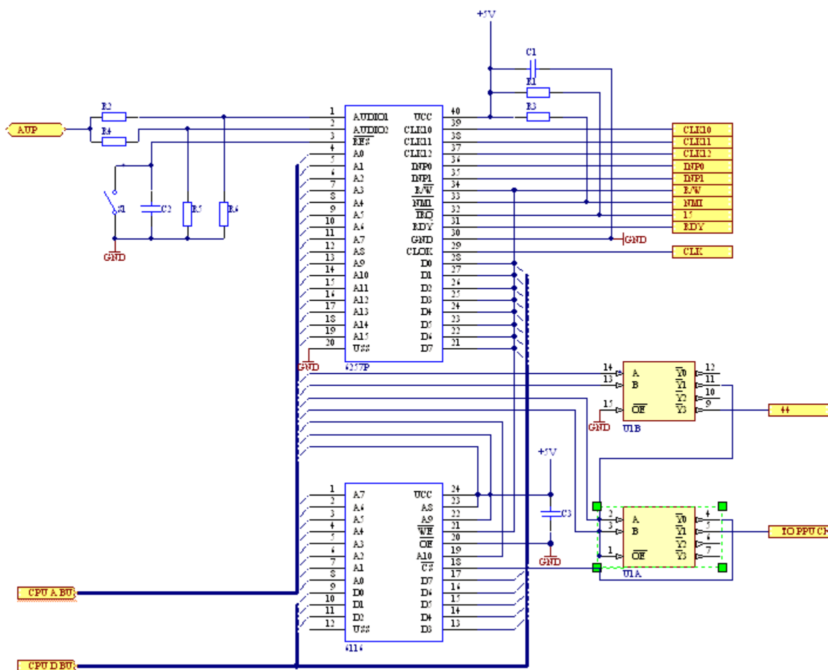



图 15-20　完成连线后的 CPU 子模块电路图

2. 图像处理器电路模块设计

在顶层电路图工作界面中，单击菜单栏中的“设计”→“产生图纸”命令，此时光标变成十字形状。将十字光标移至原理图符号“Video”内部，单击，系统自动生成文件名为“Video.SchDoc”的原理图文件，如图 15-21 所示。

TO BLOCK　　CLK
TO 47　　FROM CPU R/W
TO 17　　TO CPU NMI
FROM 18　　CE
FROM 48　　CPU A BUS
PPU A BUS　　CPU D BUS
PPU D BUS　　PA13

图 15-21　生成的 Video.SchDoc 文件

下面在生成的 Video.SchDoc 原理图中绘制图像处理器电路。

Step1 放置元件。该电路模块中用到的元件有 6528、6116、SN74LS373N 和一些阻容元件。将通用元件库“Miscellaneous Devices.IntLib”中的阻容元件放到原理图中，将“TI

Logic Latch.IntLib”元件库中的 SN74LS373N 放到原理图中。

Step2 编辑元件 6528。编辑好的 6528 元件如图 15-22 所示。元件 6116 在前面的操作中已经编辑完成，直接调用即可。完成元件放置后的图像处理器子原理图如图 15-23 所示。

Step3 设置各元件属性，然后合理布局，最后进行连线操作。完成连线后的图像处理器子原理图如图 15-24 所示。单击“原理图标准”工具栏中的 （保存）按钮，保存原理图文件。

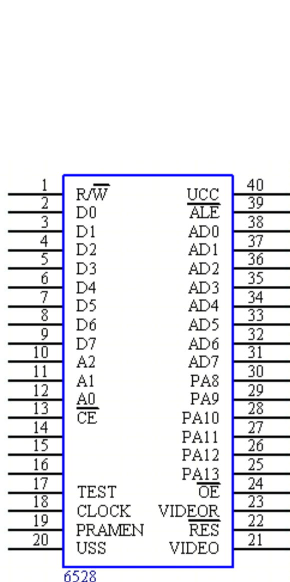



图 15-22 编辑好的 6528 元件

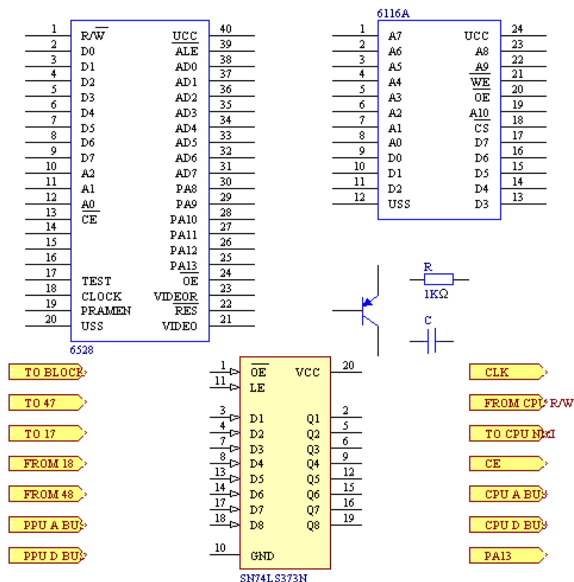



图 15-23 完成元件放置后的图像处理器子原理图

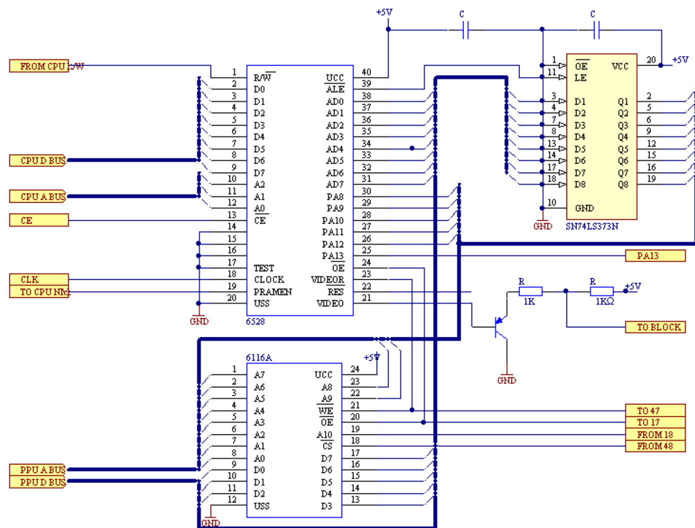



图 15-24 完成连线后的图像处理器子原理图

3．接口电路模块设计

在顶层电路图的工作界面中，单击菜单栏中的“设计”→“产生图纸”命令，此时光标变成十字形状。将十字光标移至原理图符号“Interface”内部，单击，自动生成文件名为“Interface.SchDoc”的原理图文件，如图 15-25 所示。




图 15-25　生成的 Interface.SchDoc 文件

下面在生成的 Interface.SchDoc 原理图中绘制接口电路。

Step1 放置元件。该电路模块中用到的元件有 SN74HC368N、阻容元件和接口元件。先将元件库“Miscellaneous Devices.IntLib”中的阻容元件放到原理图中，再将“Miscellaneous Connectors.IntLib”元件库中的 Connector15、Header5 和 Header6 放到原理图中，然后将“TI Logic Buffer Line Driver.IntLib”元件库中的 SN74HC368N 放到原理图中。完成元件放置后的接口电路子原理图如图 15-26 所示。

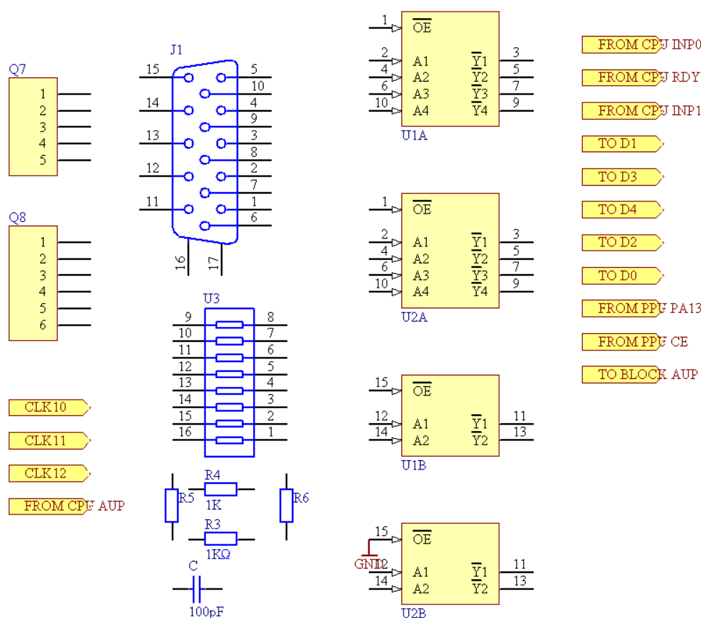



图 15-26　完成元件放置后的接口电路子原理图

Step2 设置各元件的属性，然后合理布局，最后进行连线操作。完成连线后的接口电路模块原理图如图 15-27 所示。单击“原理图标准”工具栏中的（保存）按钮，保存原理图文件。

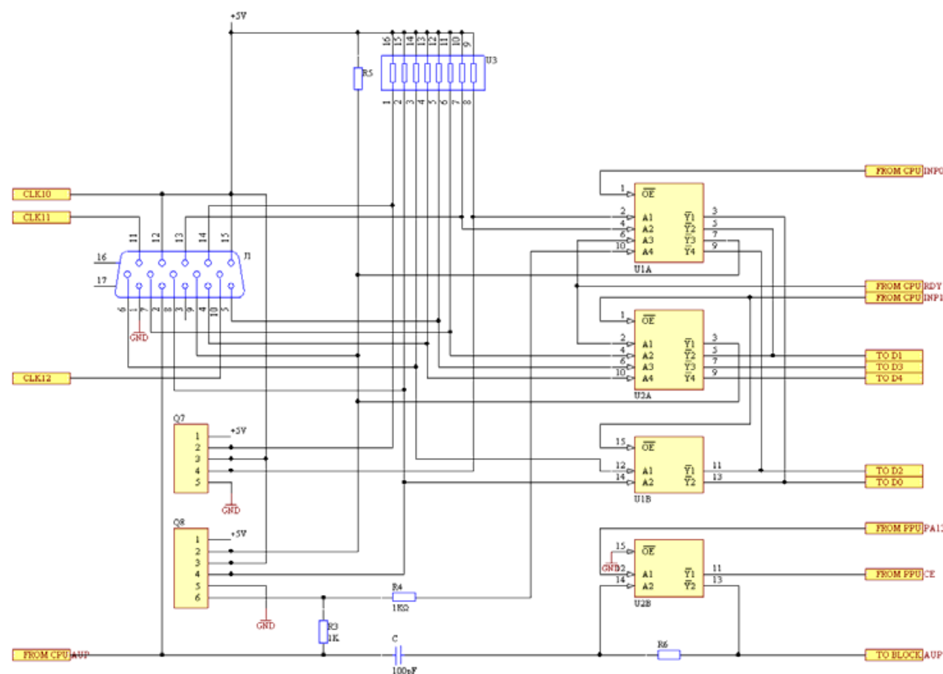



图 15-27　完成连线后的接口电路模块原理图

4．射频调制电路模块设计

Step1 在顶层电路图的工作界面中，单击菜单栏中的“设计”→“产生图纸”命令，此时光标变成十字形状。将十字光标移至原理图符号“RF”内部，单击，系统自动生成文件名为“RF.SchDoc”的原理图文件。

下面在生成的 RF.SchDoc 原理图中绘制射频调制电路。

Step2 放置元件。该电路模块中用到的元件有变压器元件、阻容元件和接口元件等。将元件库“Miscellaneous Devices.IntLib”中的阻容元件放到原理图中，再将“Miscellaneous Connectors. IntLib”元件库中的 Header7 放到原理图中。

Step3 编辑变压器元件。在“SCH Library（SCH 库）”面板中，单击“Add（添加）”按钮，添加新的元件，将其命名为 TRANS5，其元件封装设置如图 15-28 所示，属性设置如图 15-29 所示。

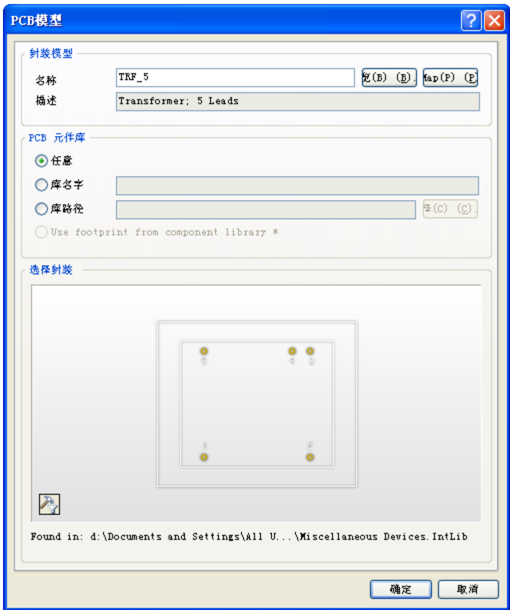
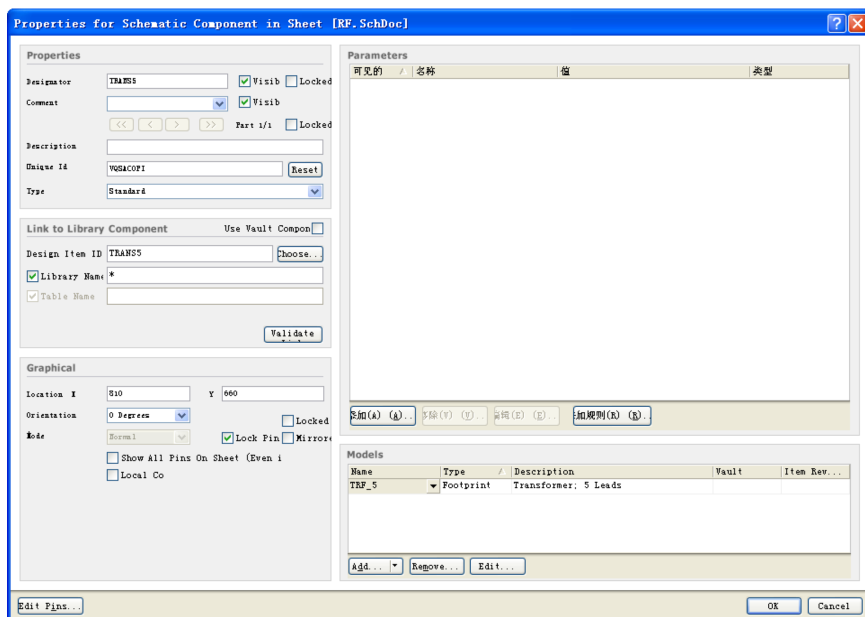



图 15-28　TRANS5 元件封装设置

Step4 可以使用修改元件的方法编辑变压器 TRANS5，修改后的 TRANS5 元件如图

15-30 所示。单击“放置”按钮，将 TRANS5 放到原理图中。



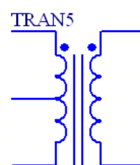




图 15-29　TRANS5 元件属性设置　　　　图 15-30　修改后的 TRANS5 元件

Step5　放置好元件后，对电容、电阻值进行设置，然后进行合理布局。布局结束后，进行连线操作。完成连线后的射频电路原理图如图 15-31 所示。单击“原理图标准”工具栏中的 (保存）按钮，保存原理图文件。

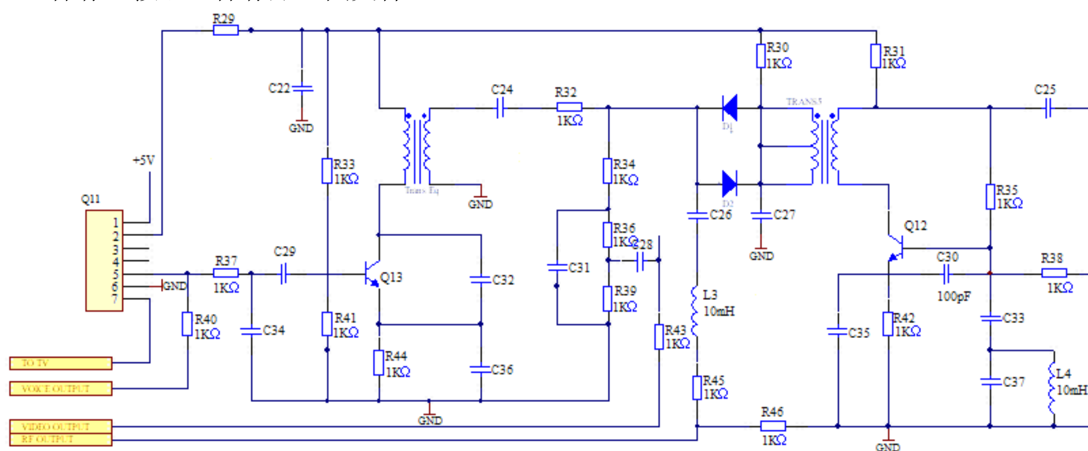



图 15-31　完成连线后的射频电路原理图

5．制式转换电路模块设计

在顶层原理图的工作界面中，单击菜单栏中的“设计”→“产生图纸”命令，此时光标变成十字形状。将十字光标移至原理图符号“Convertor”内部，单击，系统自动生成文件名为“Convertor.SchDoc”的原理图文件，如图 15-32 所示。

下面接着在生成的 Convertor.SchDoc 原理图中绘制制式转换电路。

Step1 放置元件。该电路模块中用到的元件有 MK5060 和一些阻容元件等。将元件库“Miscellaneous Devices.IntLib”中的阻容元件放到原理图中。

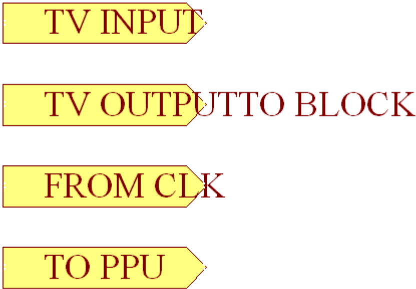



图 15-32　生成的 Convertor.SchDoc 的原理图文件

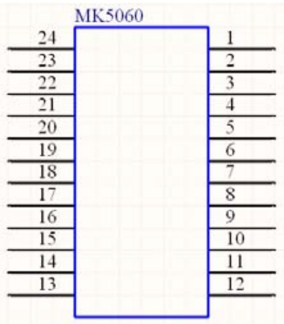



图 15-33　编辑好的 MK5060 元件

Step2 编辑 MK5060 元件，编辑好的 MK5060 元件如图 15-33。完成元件放置后的制式转换电路原理图如图 15-34 所示。

Step3 放置好元件后，对电容、电阻值进行设置，然后进行合理布局。布局结束后，进行连线操作。完成连线后的制式转换电路原理图如图 15-35 所示。单击“原理图标准”工具栏中的 （保存）按钮，保存原理图文件。

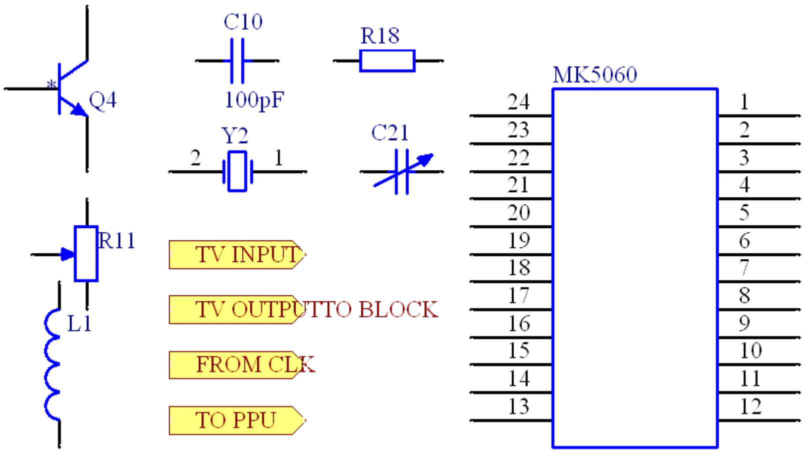



图 15-34　完成元件放置后的制式转换电路原理图

6．电源电路模块设计

在顶层原理图的工作界面中，单击菜单栏中的“设计”→“产生图纸”命令，此时光标变成十字形状。将十字光标移至原理图符号“Source”内部，单击，则系统自动生成文件名为“Source.SchDoc”的原理图文件。

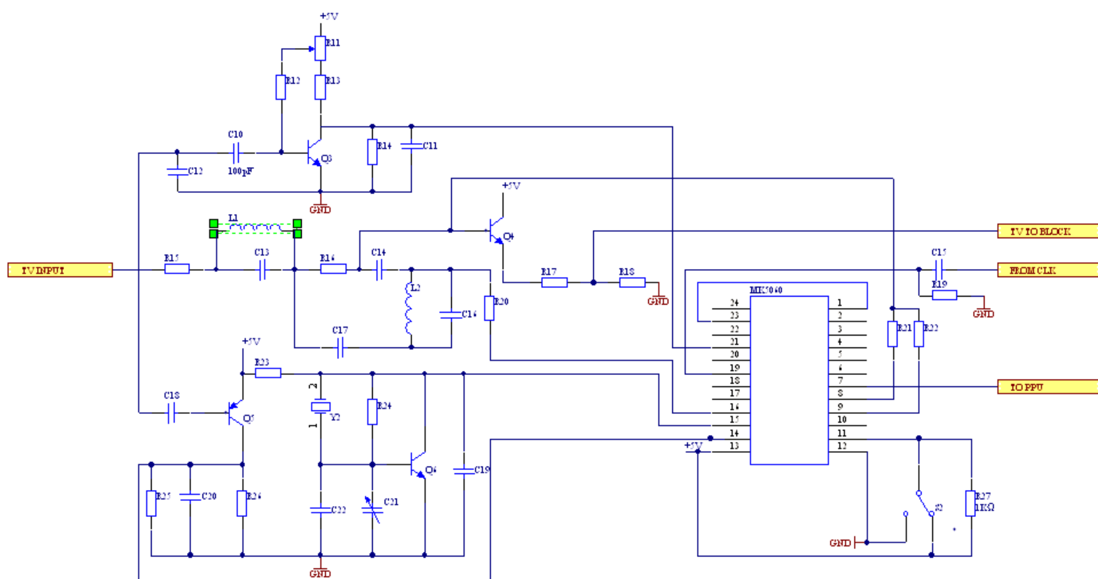


图 15-35　完成连线后的制式转换电路原理图

下面在生成的 Source.SchDoc 原理图中绘制电源电路。

Step1 放置元件。该电路模块中用到的元件有 AN7805 和一些阻容元件。将元件库“Miscellaneous Devices.IntLib”中的阻容元件放到原理图中。

Step2 编辑 AN7805 元件和变压器元件。在“SCH Library（SCH 库）”面板中，单击“Add（添加）”按钮，添加新的元件，将其命名为 AN7805，修改后的 AN7805 元件如图 15-36 所示。

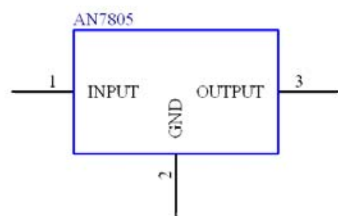



图 15-36　修改后的 AN7805 元件

采用同样的方法修改变压器元件。修改后的变压器元件如图 15-37 所示，其封装如图 15-38 所示。然后单击“放置”按钮，将元件放到原理图中。

Step3 放置好元件后，对电容值进行设置，然后进行合理布局。电源模块原理图中的元件布局如图 15-39 所示。布局结束后，单击“连线”工具栏中的（放置导线）按钮，执行连线操作。完成连线后的电源模块电路原理图如图 15-40 所示。单击“原理图标准”工具栏中的（保存）按钮，保存原理图文件。

7. 时钟电路模块设计

在顶层电路图的工作界面中，单击菜单栏中的“设计”→“产生图纸”命令，此时光标变成十字形状。将十字光标移至原理图符号“Clock”内部，单击，系统自动生成文件名为“Clock.SchDoc”的原理图文件，如图 15-41 所示。

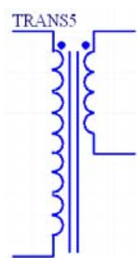



图 15-37　修改后的变压器元件




图 15-38　变压器元件封装

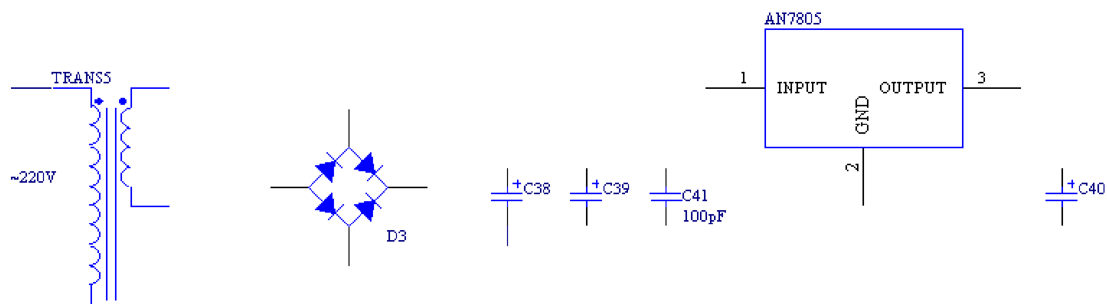



图 15-39　电源模块原理图中的元件布局

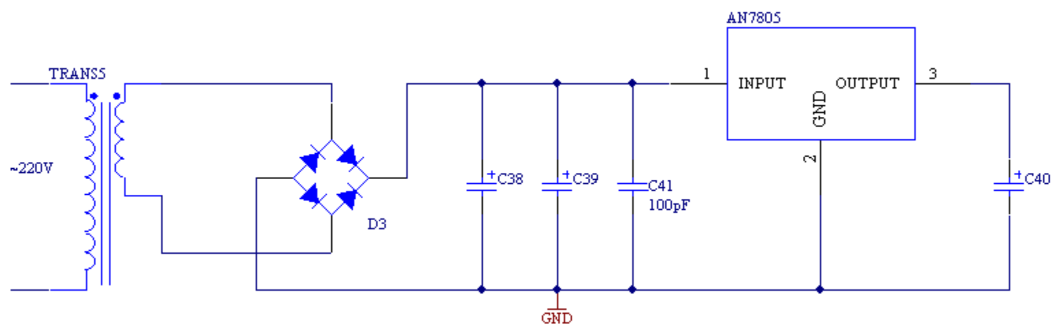



图 15-40　完成连线后的电源模块电路原理图

下面接着在生成的 Clock.SchDoc 原理图中绘制时钟电路。

Step1 放置元件。该电路模块中用到的元件都为阻容元件。将元件库“Miscellaneous Devices.IntLib”中的阻容元件放到原理图中。

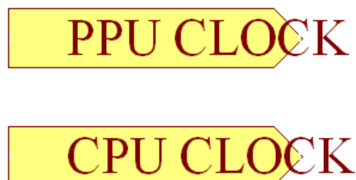



图 15-41　生成的 Clock.SchDoc 文件

Step2 放置好元件后，进行布局。时钟电路原理图中的元件布局如图 15-42 所示。布局结束后，单击“连线”工具栏中的（放置导线）按钮，进行连线操作。完成连线后的时钟电路原理图如图 15-43 所示。单击“原理图标准”工具栏中的（保存）按钮，保存原理图文件。

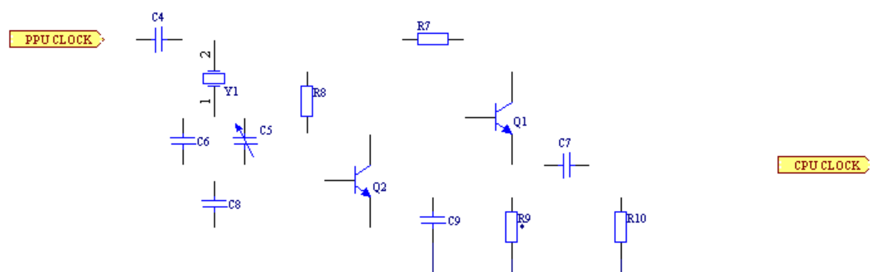



图 15-42　时钟电路原理图中的元件布局

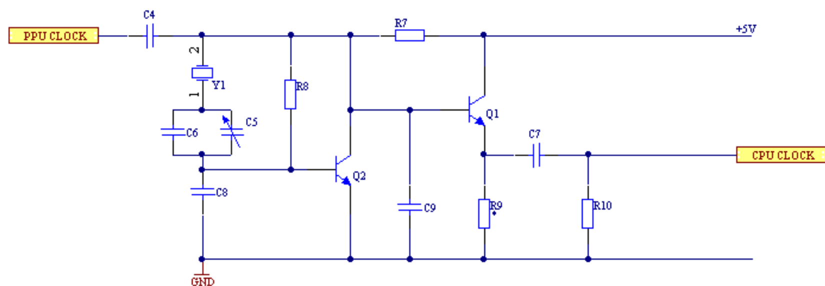



图 15-43　完成连线后的时钟电路原理图

8. 光电枪电路模块设计

在顶层电路图的工作界面中，单击菜单栏中的“设计”→“产生图纸”命令，此时光标变成十字形状。将十字光标移至原理图符号“Photoelectric Gun”内部，单击，系统自动生成文件名为“Photoelectric Gun.SchDoc”的原理图文件。

下面在生成的 Photoelectric Gun.SchDoc 原理图中绘制光电枪电路。

Step1 放置元件。该电路模块中用到的元件为 CD4011BCN 和一些阻容元件。先将“FSC Logic Gate.IntLib”元件库中的元件 CD4011BCN 放到原理图中，再将通用元件库“Miscellaneous Devices.IntLib”中的阻容元件放到原理图中，然后将“Miscellaneous Connectors.IntLib”元件库中的元件 Connector15 放到原理图中。

Step2 放置好元件后，设置元件各项属性并对元件进行布局。光电枪电路原理图中的元件布局如图 15-44 所示。

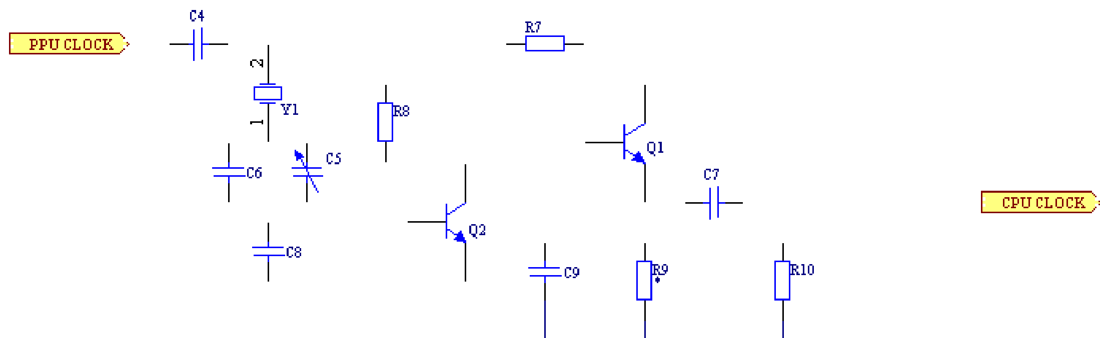



图 15-44 光电枪电路原理图中的元件布局

Step3 布局结束后，单击“连线”工具栏中的 （放置导线）按钮，执行连线操作。完成连线后的光电枪原理图如图 15-45 所示。单击“原理图标准”工具栏中的 （保存）按钮，保存原理图文件。

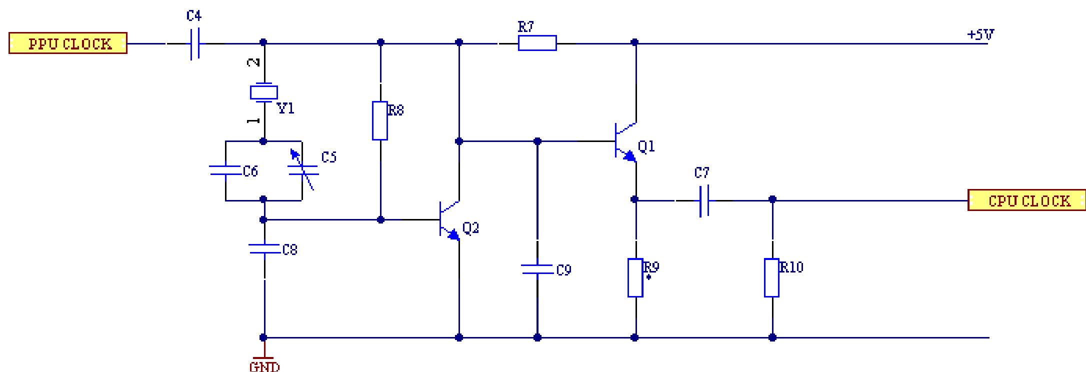



图 15-45 完成连线后的光电枪原理图

9．控制盒电路模块设计

在顶层电路图的工作界面中，单击菜单栏中的“设计”→“产生图纸”命令，此时光标变成十字形状。将十字光标移至原理图符号“Control”的内部，单击，系统自动生成文件名为“Control.SchDoc”的原理图文件。

下面在生成的 Control.SchDoc 原理图中绘制控制盒电路。

Step1 放置元件。该电路模块中用到的元件有 NE555N、SK4021B 和一些阻容元件。先将通用元件库“Miscellaneous Devices.IntLib”中的阻容元件放到原理图中，再将“ST Analog

Timer Circuit.IntLib”元件库中的 NE555N 放到原理图中。

Step2 编辑 SK4021B 元件。在“SCH Library（SCH 库）”面板中，单击“Add（添加）”按钮，添加新的元件，将其命名为 SK4021B。编辑好的 SK4021B 元件和其封装形式分别如图 15-46 和图 15-47 所示。

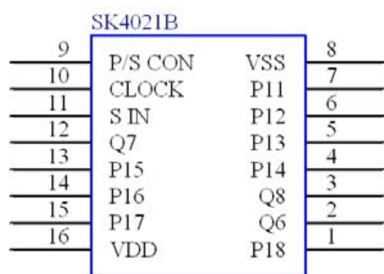



图 15-46　编辑好的 SK4021B 元件

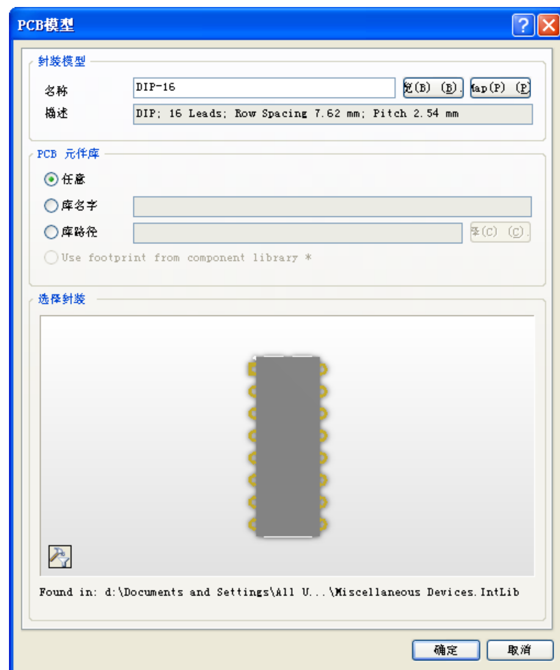



图 15-47　SK4021B 元件的封装形式

Step3 放置好元件后，设置元件各项属性并对元件进行布局。控制盒电路原理图中的元件布局如图 15-48 所示。

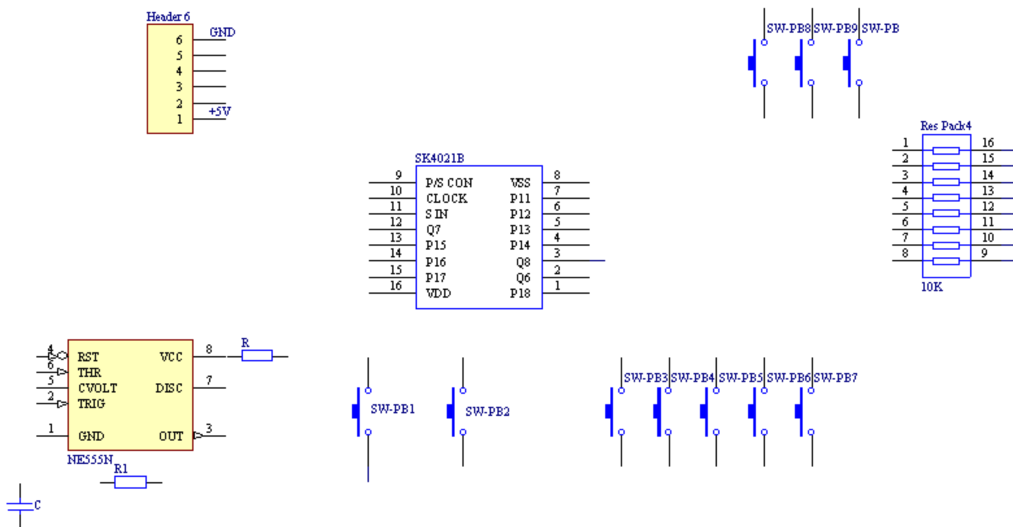



图 15-48　控制盒电路原理图中的元件布局

Step4 布局完成后，单击“连线”工具栏中的 （放置线）按钮，进行连线操作。完成连线后的控制盒电路原理图如图 15-49 所示。单击“原理图标准”工具栏中的 （保存）按钮，保存原理图文件。

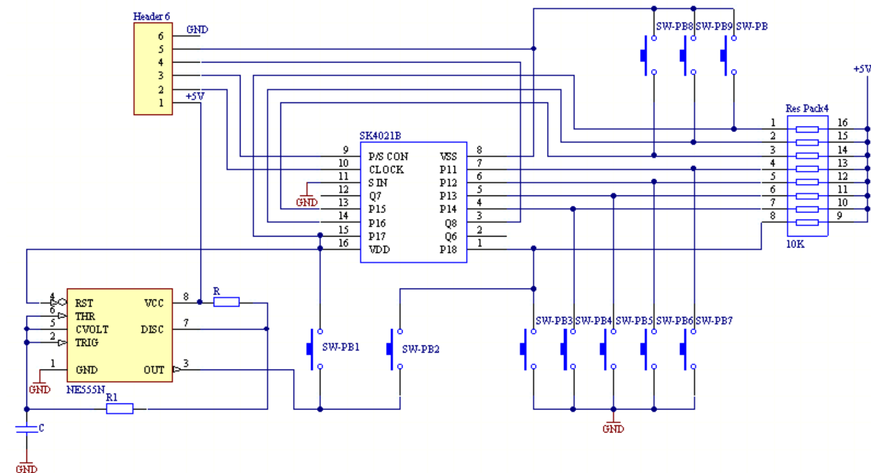



图 15-49 完成连线后的控制盒电路原理图

## 15.3.3 原理图元件的自动标注

如果对原理图中排列的元件不做标注，那么同种类型的元件只要放置超过两个，就会出现错误，而利用逐个修改元件属性的方式修改其标注值又太过于繁琐。其实，在 Altium Designer 10 中内置了一个非常有用的工具，即原理图元件的自动标注，可以解决这类问题。

Step1 在该项目文件的任一子原理图中，单击菜单栏中的“工具”→“注解”命令，系统弹出如图 15-50 所示的“注释”对话框。




图 15-50 “注释”对话框

Step2 选择从左到右、从上到下的标注顺序。在“处理顺序”选项组中，可以查看子图的标注顺序，也可以修改子图标注顺序。单击“更新更改列表”按钮，系统将弹出如图 15-51 所示的“Information（信息）”对话框。

Step3 单击“OK（确定）”按钮，确认系统提示的修改信息。在“注释”对话框中，单击“接受修改”按钮，接受系统对元件标注的修改，同时系统将弹出如图 15-52 所示的“工程更改顺序”对话框。单击“执行更改”按钮，系统将执行自动标注。元件标注修改栏将变为灰色，如图 15-53 所示。







图 15-51 “Information”对话框　　　　图 15-52 “工程更改顺序”对话框




图 15-53 元件标注修改栏

Step4 完成标注后，单击“报告更改”按钮，查看元件的标注信息，如图 15-54 所示。

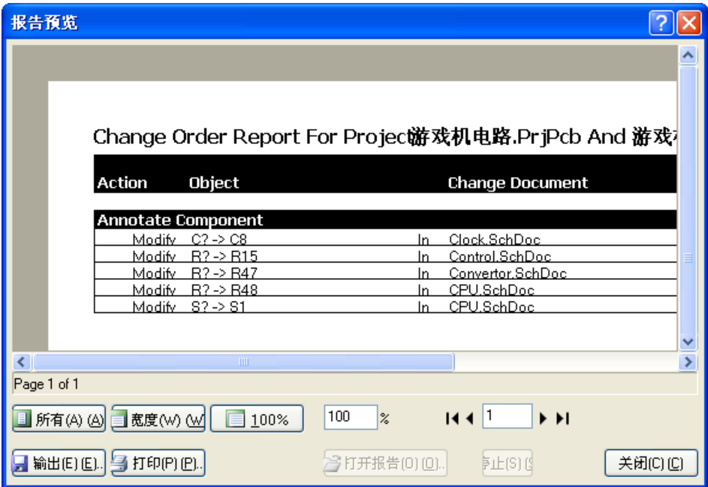



图 15-54 元件的标注信息

Step5 依次单击“关闭”按钮，关闭对话框。自动标注是将顶层电路图中的所有子图统一标注，这样整个原理图就更加清晰明了。自动标注后的电子枪部分电路原理图如图 15-55 所示。

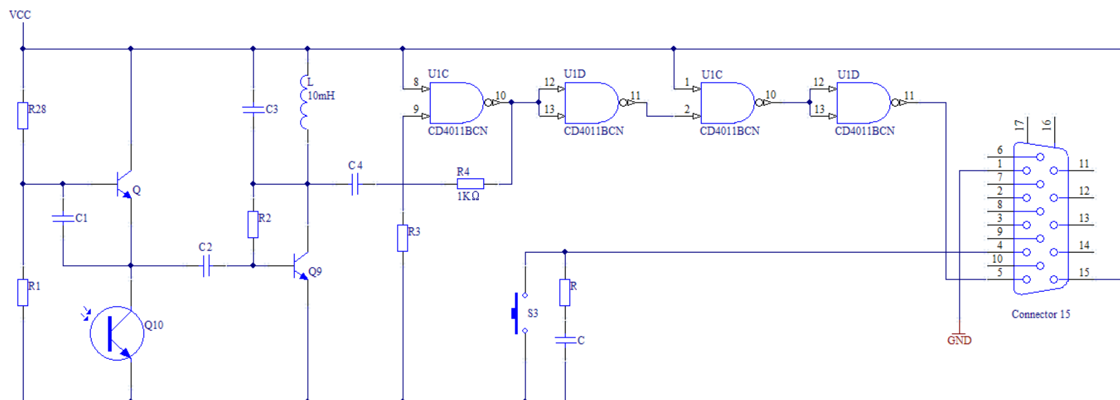


图 15-55 自动标注后的电子枪部分电路原理图

## 15.3.4 自下而上的层次结构原理图设计方法

自下而上的设计方法是利用子原理图产生顶层电路原理图，因此首先需要绘制好子原理图。其操作步骤如下：

Step1 新建项目文件。在新建项目文件中，绘制好本电路中的各个子原理图，并且将各子原理图之间的连接用 I/O 端口绘制出来。

Step2 在新建项目中，新建一个名为“游戏机电路.SchDoc”的原理图文件。

Step3 在“游戏机电路.SchDoc”工作界面中，单击菜单栏中的“设计”→“ HDL 文件或图纸生成图表符”命令，系统将弹出如图 15-56 所示的“Choose Document to Place”（选择放置文档）对话框。

Step4 选中该对话框中的任一子原理图，然后单击“OK（确定）”按钮，系统将在“游戏机电路.SchDoc”原理图中生成该子原理图所对应的子原理图符号。执行上述操作后，在“游戏机电路.SchDoc”原理图中生成随光标移动的子原理图符号，如图 15-57 所示。

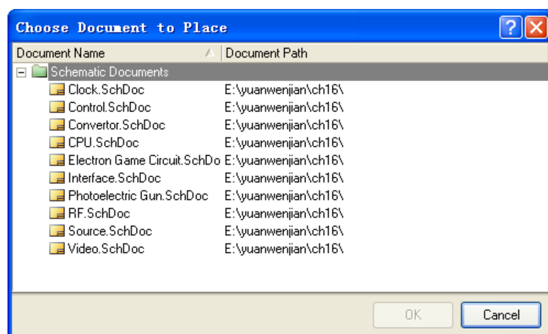


图 15-56 “Choose Document to Place”对话框

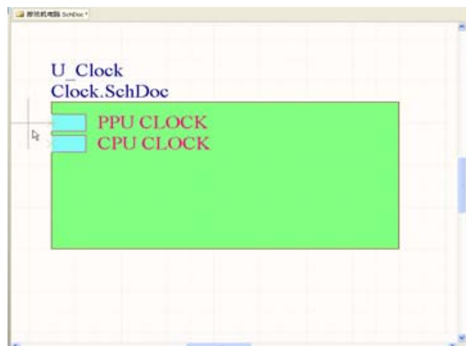


图 15-57 生成随光标移动的子原理图符号

Step5 单击，将原理图符号放置在原理图中。采用同样的方法放置其他模块的原理图符号。生成原理图符号后的顶层原理图如图 15-58 所示。

Step6 分别对各个原理图符号和 I/O 端口进行属性修改和位置调整，然后将原理图符号之间具有电气连接关系的端口用导线或总线连接起来，就得到如图 15-15 所示的层次原理图的顶层电路图。

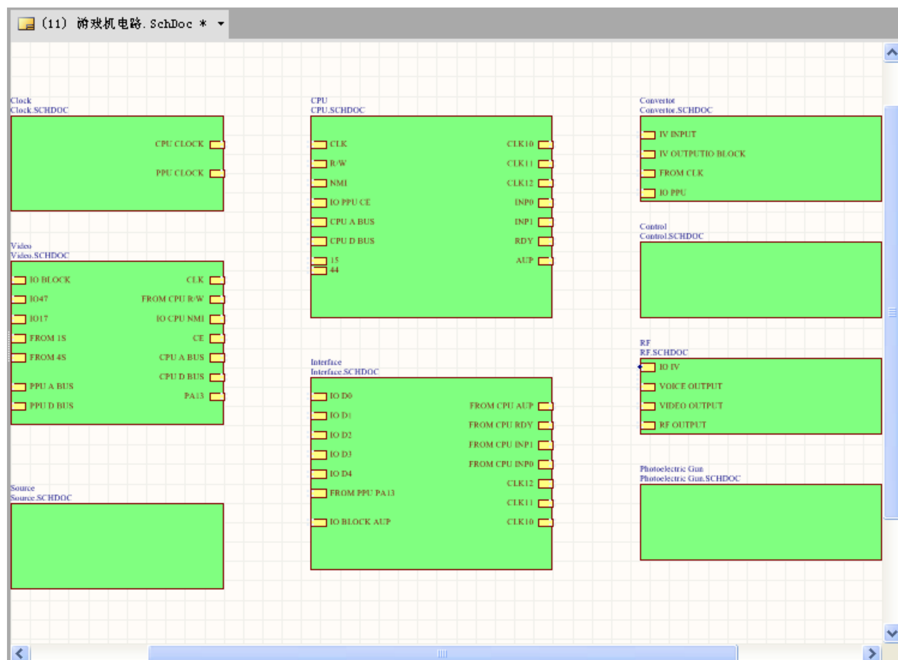


图 15-58　生成原理图符号后的顶层原理图

# 15.4　层次原理图间的切换

层次原理图之间的切换主要有两种，一种是从顶层原理图的原理图符号切换到对应的子电路原理图，另一种是从某一层原理图切换到它的上层原理图。

## 15.4.1　从顶层原理图切换到原理图符号对应的子图

Step1 单击菜单栏中的“工程”→“设计工作区”→“编译所有的工程”命令，或在“Navigate（导航）面板中右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“编译”命令，执行编译操作。编译后的“Messages（信息）”面板如图 15-59 所示，编译后的“Navigator（导航）”面板如图 15-60 所示，其中显示了各原理图的信息和层次原理图的结构。

Step2 单击菜单栏中的“工具”→“上/下层次”命令，或在“Navigator（导航）”面板的“Document For PCB（PCB 文档）”选项栏中，双击要进入的顶层原理图或者子图的文件名，可以快速切换到对应的原理图。

Step3 单击菜单栏中的“工具”→“上/下层次”命令，光标变成十字形，将光标移至顶层原理图中的原理图符号上，单击就可以完成切换。

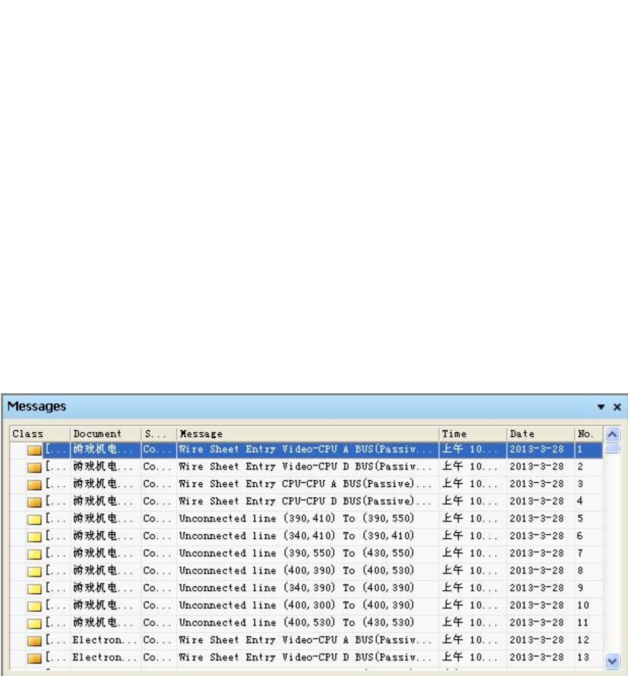



图 15-59 编译后的“Messages”面板

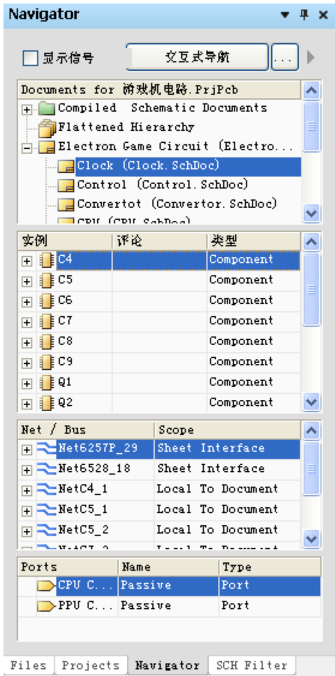



图 15-60 编译后的“Navigator”面板

## 15.4.2 从子原理图切换到顶层原理图

编译项目后，单击菜单栏中的“工具”→“上/下层次”命令，或单击“原理图标准”工具栏中的⇅（上/下层次）按钮，或在“Navigator（导航）”面板中选择相应的顶层原理图文件，执行从子原理图到顶层原理图切换的命令。接着单击菜单栏中的“工具”→“上/下层次”命令，光标变成十字形，移动光标到子图中任一输入/输出端口上，单击，系统自动完成切换。

# 15.5 元件清单

Step1 在该项目任意一张原理图中，单击菜单栏中的“报告”→“Bill of Material（元件清单）”命令，系统将弹出如图 15-61 所示的对话框来显示元件清单列表。

Step2 单击“菜单”按钮，在弹出的“菜单”菜单中单击“报告”命令，系统将弹出报表预览对话框。

Step3 单击“输出”按钮，系统将弹出保存元件清单对话框。选择保存文件位置，输入文件名，完成保存。

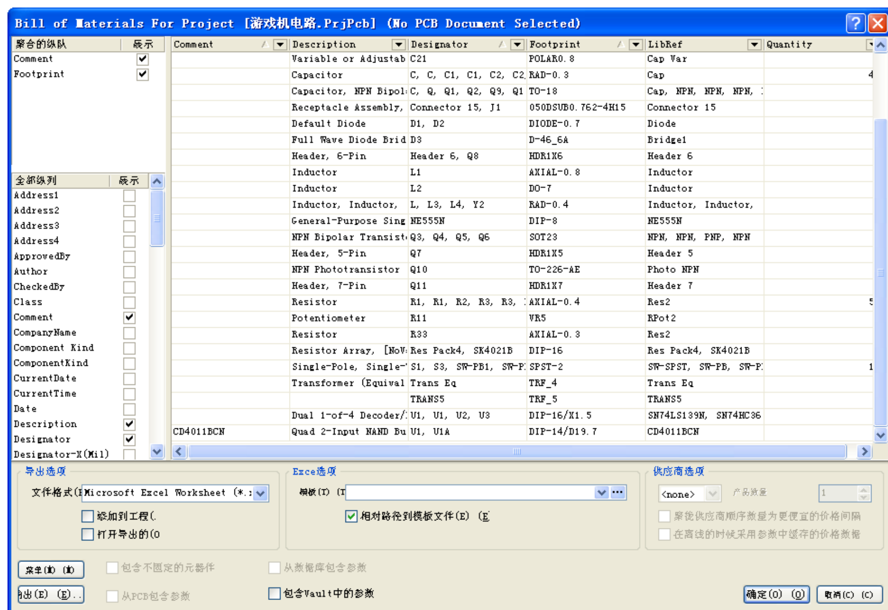



图 15-61 显示元件清单列表

上述步骤生成的是电路总的元件报表，也可以分门别类地生成每张电路原理图的元件清单报表。分类生成电路元件报表的方法是：在该项目任意一张原理图中，单击菜单栏中的“报告”→“Component Cross Reference（分类生成电路元件清单报表）”命令，系统将弹出如图 15-62 所示的对话框来显示元件分类清单列表。在该对话框中，元件的相关信息都是按子原理图分组显示的。

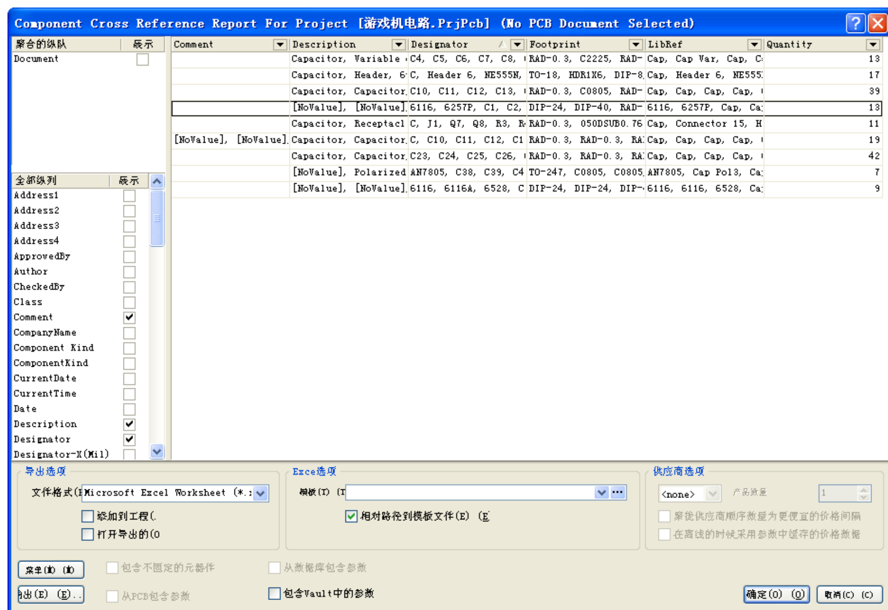



图 15-62 显示元件分类清单列表

# 15.6 设计电路板

在一个项目中，不管是独立电路图，还是层次结构电路图，在设计印制电路板时系统都会将所有电路图的数据转移到一块电路板里，所以没用到的电路图必须删除。

## 15.6.1 印制电路板设计初步操作

根据层次结构电路图设计电路板时，还要从新建印制电路板文件开始，其操作步骤如下：

Step1 切换到“Projects（工程）”面板，选中当前项目，右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“给工程添加新的”→“PCB（PCB 文件）”命令，即可在“Projects（工程）”面板中产生一个新的印制电路板文档（PCB1.PcbDoc），同时进入印制电路板编辑环境，在编辑区中也出现一个空白的印制电路板。

Step2 单击“PCB 标准”工具栏中的（保存）按钮，指定所要保存的文件名为“游戏机电路板.PcbDoc”，单击“保存”按钮，关闭该对话框。

Step3 绘制一个简单的印制电路板外框，指向编辑区下方工作层标签栏的“KeepOut Layer（禁止布线层）”标签，单击切换到禁止布线层。按 P+L 键进入画线状态，指向外框的第一个角，单击；移到第二个角，双击；再移到第三个角，双击；再移到第四个角，双击；移回第一个角（不一定要很准），单击，再右击两下退出该操作。

Step4 单击菜单栏中的“设计”→“Import Changes From 电子游戏机电路.PRJPCB”命令，系统将弹出如图 15-63 所示的“工程更改顺序”对话框。

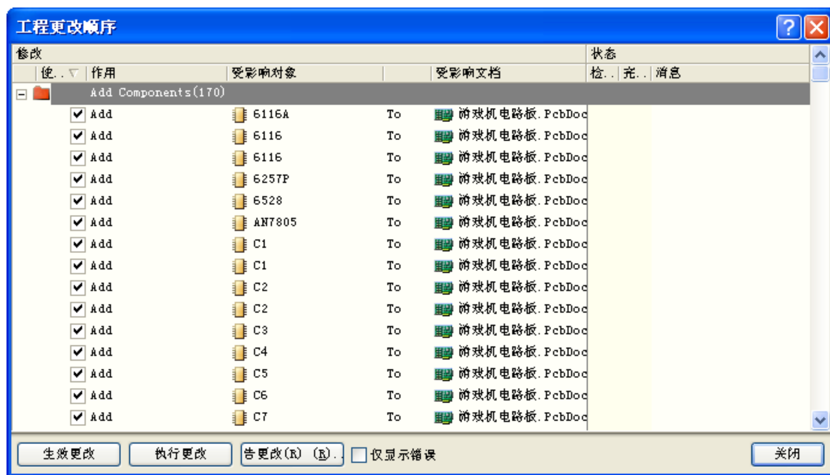



图 15-63 “工程更改顺序”对话框

Step5 单击“生效更改”按钮，验证一下更新方案是否有错误，程序将验证结果显示在对话框中，如图 15-64 所示。

Step6 在图 15-64 中，没有错误产生，单击“执行更改”按钮，执行更改操作，然后单击“关闭”按钮，如图 15-64 所示。关闭该对话框。加载元件到电路板后的原理图如图 15-65

所示。

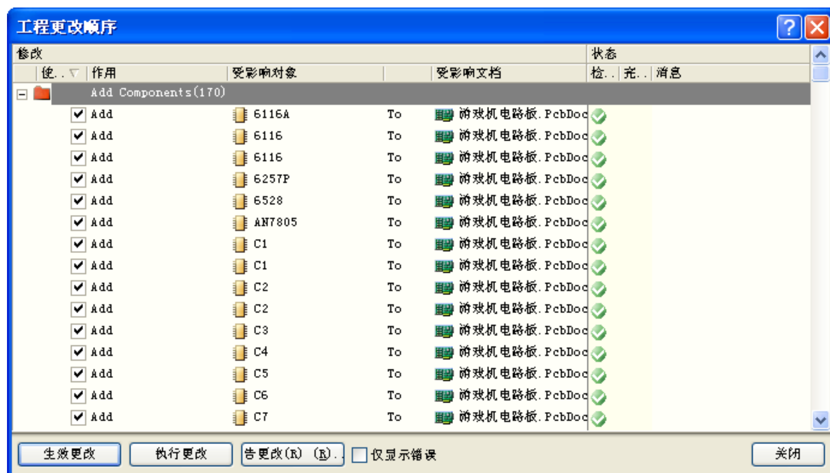



图 15-64　验证结果

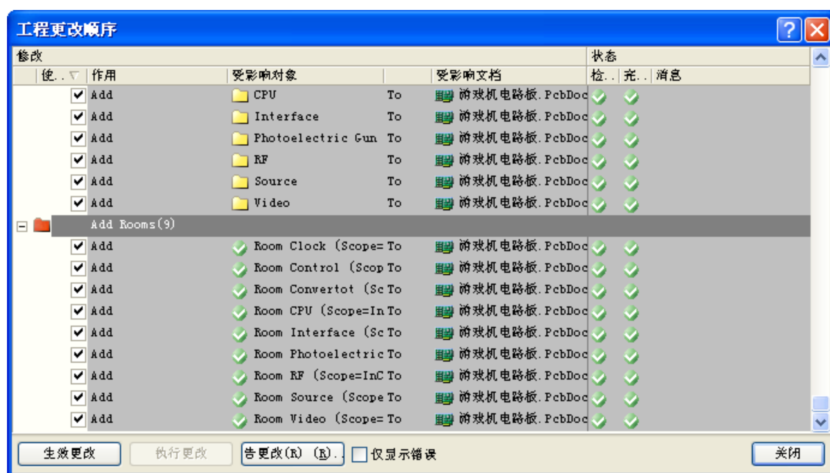



图 15-65　更新结果

Step7 在图 15-66 中，包括 9 个零件放置区域（上述设计的 9 个模块电路），分别指向这 9 个区域内的空白处，按住鼠标左键将其拖到板框之中（可以重叠）。再次指向零件放置区域内的空白处，单击，区域四周出现 8 个控点，再指向右边的控点，按住鼠标左键，移动光标即可改变其大小，将它扩大一些（尽量充满板框）。改变零件放置空间范围后的原理图如图 15-67 所示。

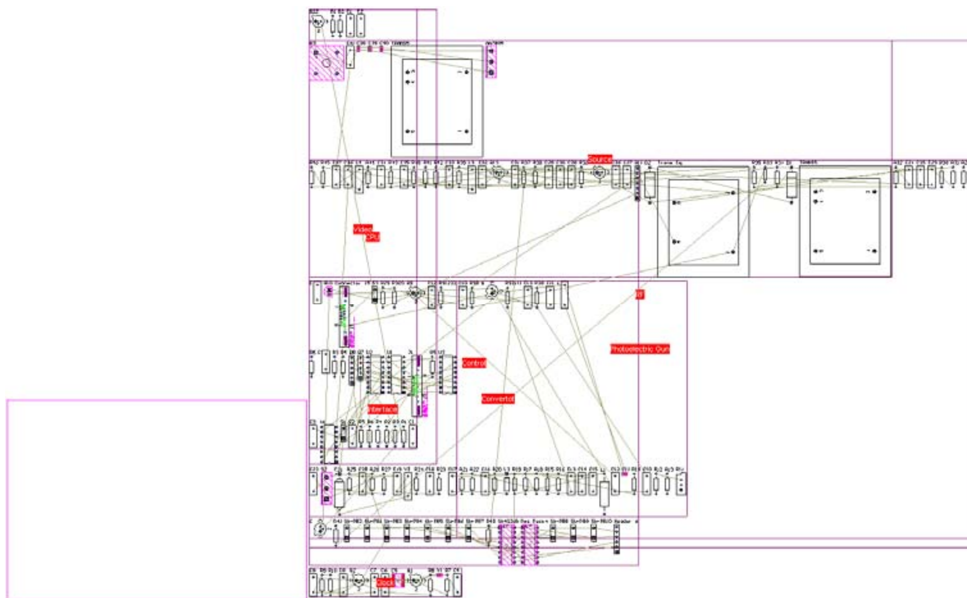



图 15-66 加载元件到电路板

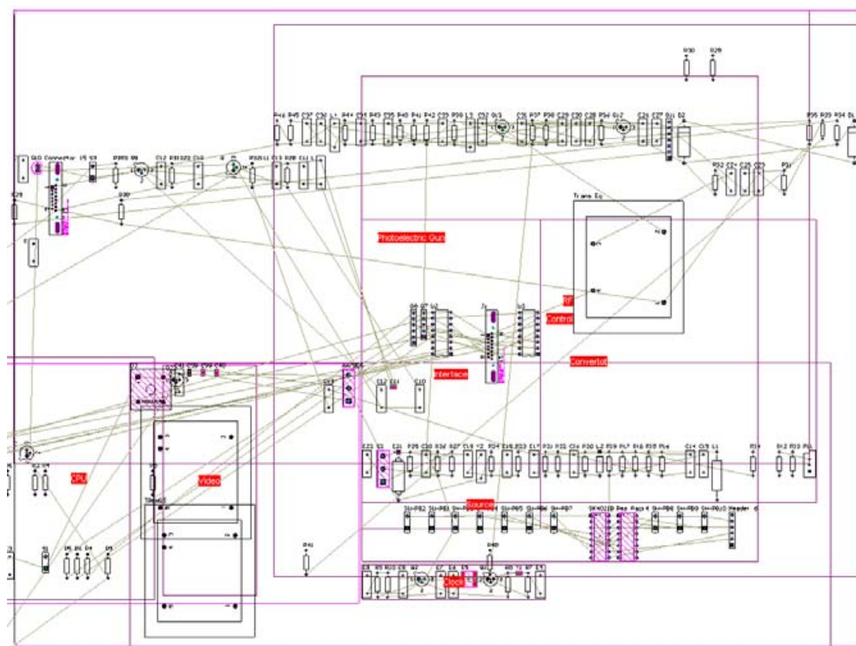



图 15-67 改变零件放置空间范围后的原理图

Step8 单击菜单栏中的“工具”→“器件布局”→“按照 Room 布局”命令，分别指向这 9 个零件放置区域。按鼠标左键拖动零件到这两个区域内，然后右击。零件在放置区域内的排列如图 15-68 所示。

Step9 分别指向零件放置区域，单击，再按 Delete 键，将它们删除。删除零件放置区域后的原理图如图 15-69 所示。

Step10 手动放置零件，电路板设计初步完成。

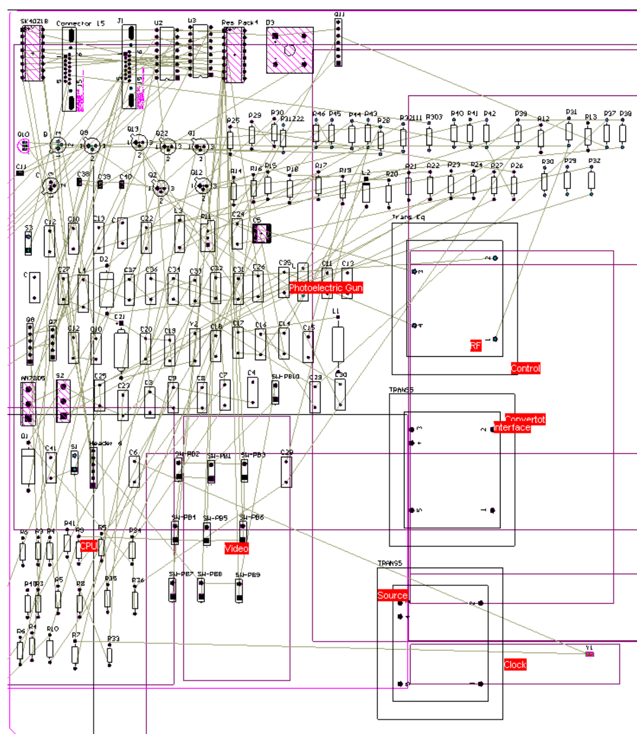



图 15-68　零件在放置区域内的排列

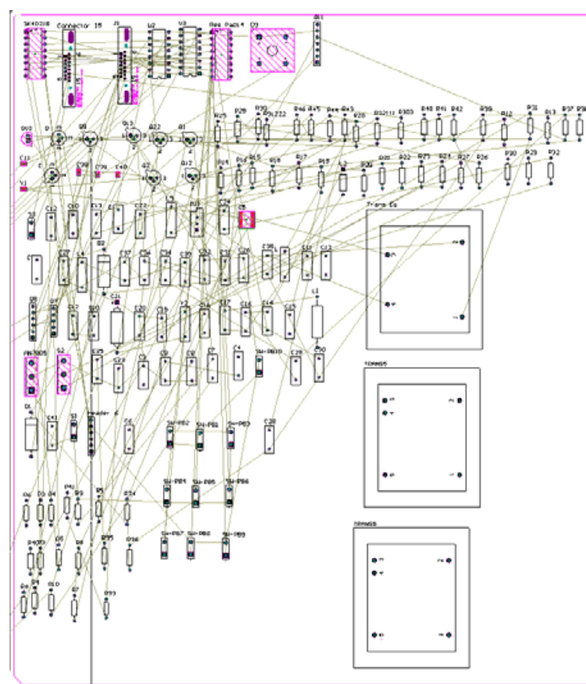


图 15-69　删除零件放置区域后的原理图

## 15.6.2 布线设置

在布线之前，必须进行相关的设置。本电路采用双面板布线，而程序默认即为双面板布线，所以不必设置布线板层。尽管如此，也要将整块电路板的走线宽度设置为最细的 10mil，最宽线宽及自动布线都采用 16mil。另外，电源线（VCC 与 GND）采用最细的 10mil，最宽线宽及自动布线的线宽都采用 20mil。设置布线的操作步骤如下。

Step1 单击菜单栏中的“设计”→“类”命令，系统将弹出如图 15-70 所示的“对象类浏览器”对话框。

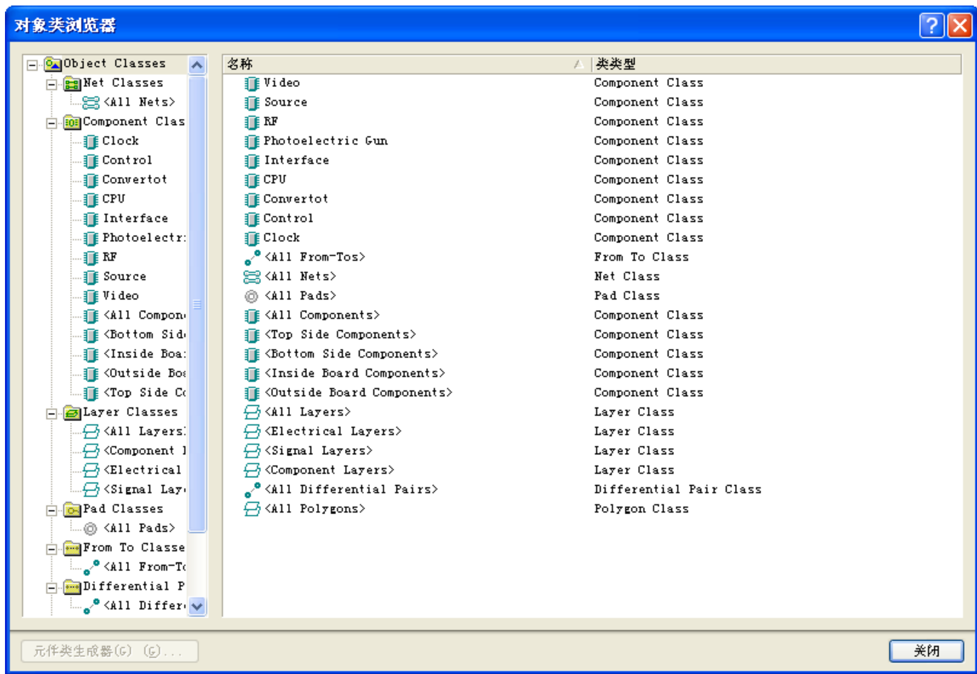



图 15-70 “对象类浏览器”对话框

Step2 右击“Net Classes（网络类）”选项，在弹出的右键快捷菜单中单击“Add Class（添加类）”命令，在该选项中将新增一项分类（New Class）。

Step3 选择该分类，右击，在弹出的右键快捷菜单中单击“重命名类”命令，将其名称改为“POWER”，右侧将显示其属性，如图 15-71 所示。

Step4 在左侧的“非成员”列表框中选择 GND 选项，单击按钮将它加入到右侧的“成员”列表框中；同样，在左侧的列表框中选择 VCC 选项，单击按钮将它加入到右侧的列表框中，最后单击“关闭”按钮，关闭该对话框。

Step5 单击菜单栏中的“设计”→“规则”命令，系统弹出的“PCB 规则及约束编辑器”对话框如图 15-72 所示。单击“Routing（路径）”→“Width（宽度）”→“Width（宽度）”选项，设计线宽规则。

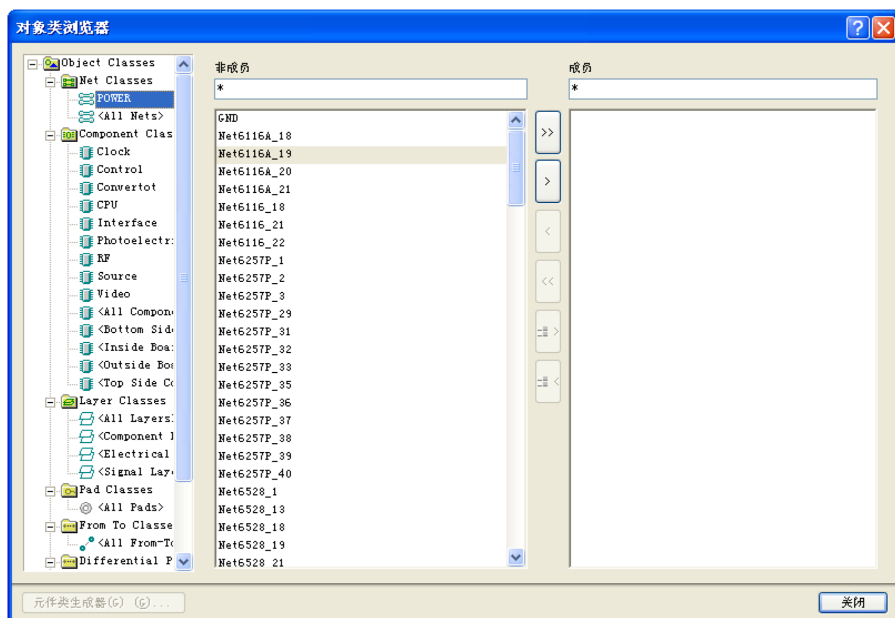



图 15-71　显示属性

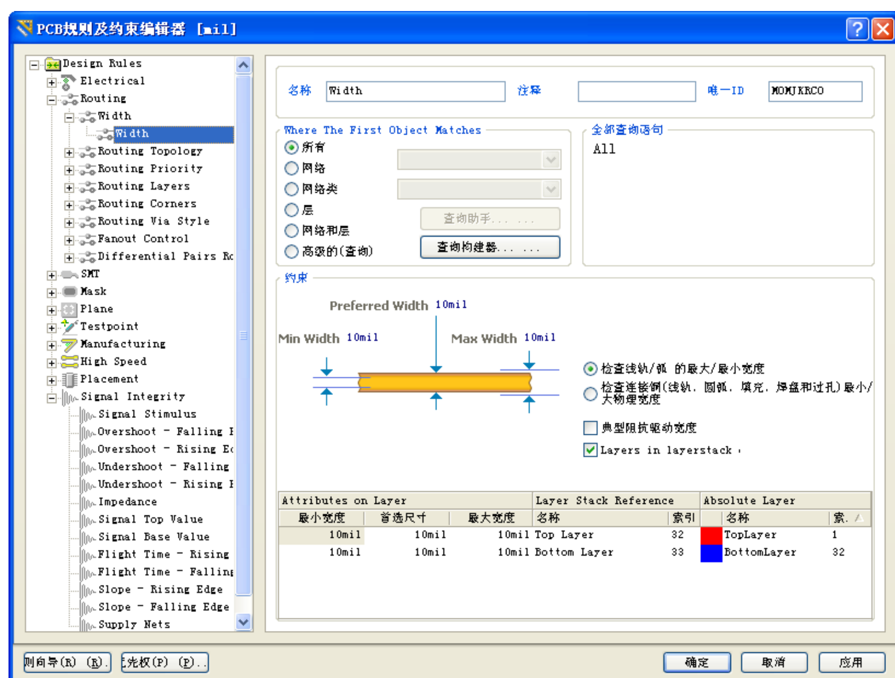



图 15-72　“PCB 规则及约束编辑器”对话框

Step6 将“Max Width（最大宽度）”与“Preferred Width（首选宽度）”选项都设置为 16mil。新增一项线宽的设计规则，右击“Width（宽度）”选项，在弹出的右键快捷菜单中单击“新规则”命令，即可产生 Width_1 选项。选择该选项，如图 15-73 所示。

Step7 在“名称”文本框中，将该设计规则的名称改为“电源线线宽”，点选“Net Class

（网络类）”单选钮，然后在字段里指定适用对象为 Power 网络分类；将“Max Width（最大宽度）”与“Preferred Size（首选大小）”选项都设置为 20mil，如图 15-74 所示。单击“OK（确定）”按钮，关闭该对话框。

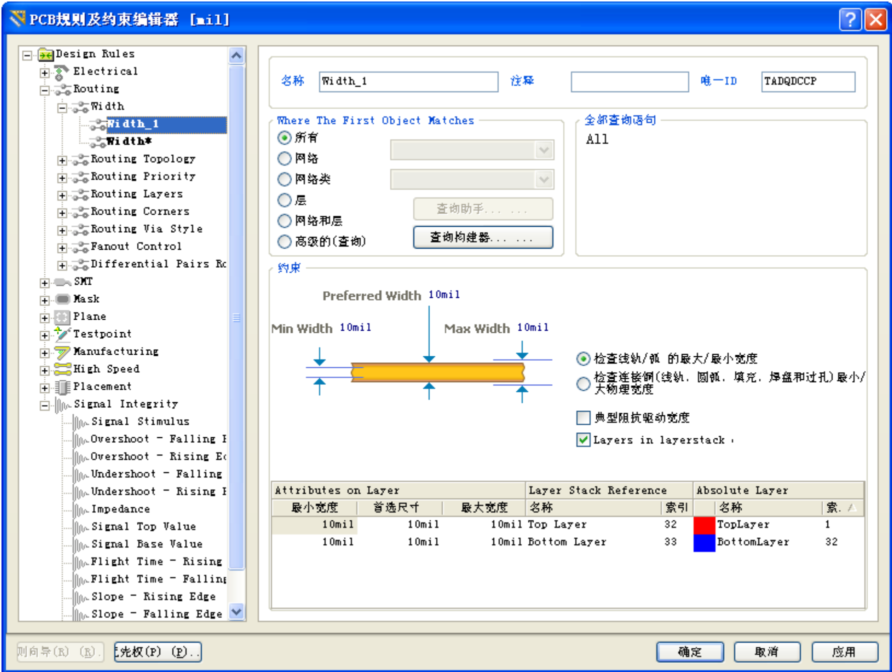



图 15-73 Width_1 选项

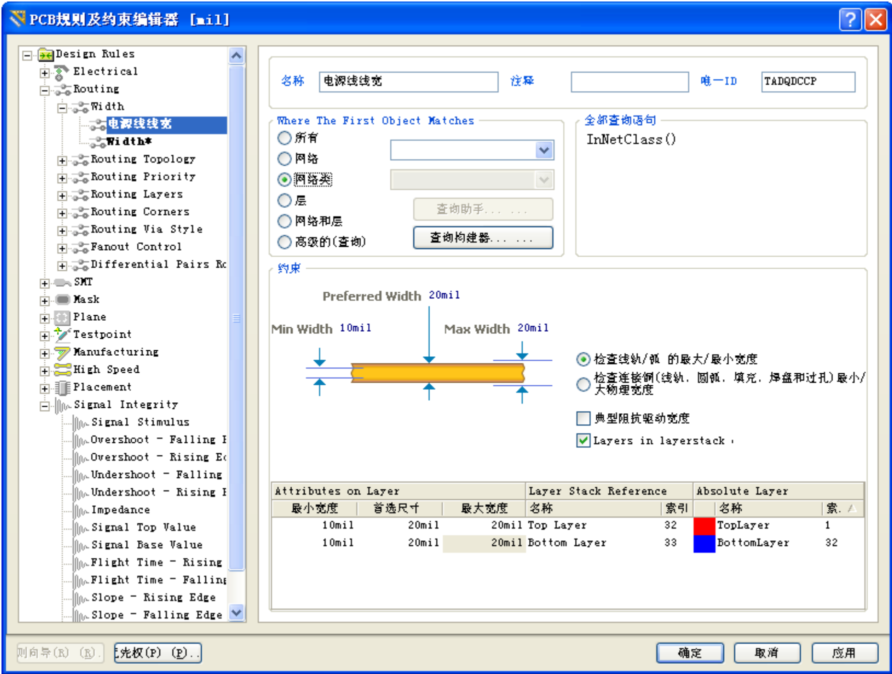



图 15-74 新增电源线线宽设计规则

Step8 单击菜单栏中的“自动布线”→“全部”命令，系统将弹出如图 15-75 所示的“Situs 位置策略（布线位置策略）”对话框。

Step9 保持程序预置状态，单击“Route All（布线所有）”按钮，进行全局性的自动布线。布线完成后如图 15-76 所示。

Step10 只需要很短的时间就可以完成布线，关闭“Message（信息）”面板。电路板布线完成后，单击“PCB 标准”工具栏中的（保存）按钮，保存文件。

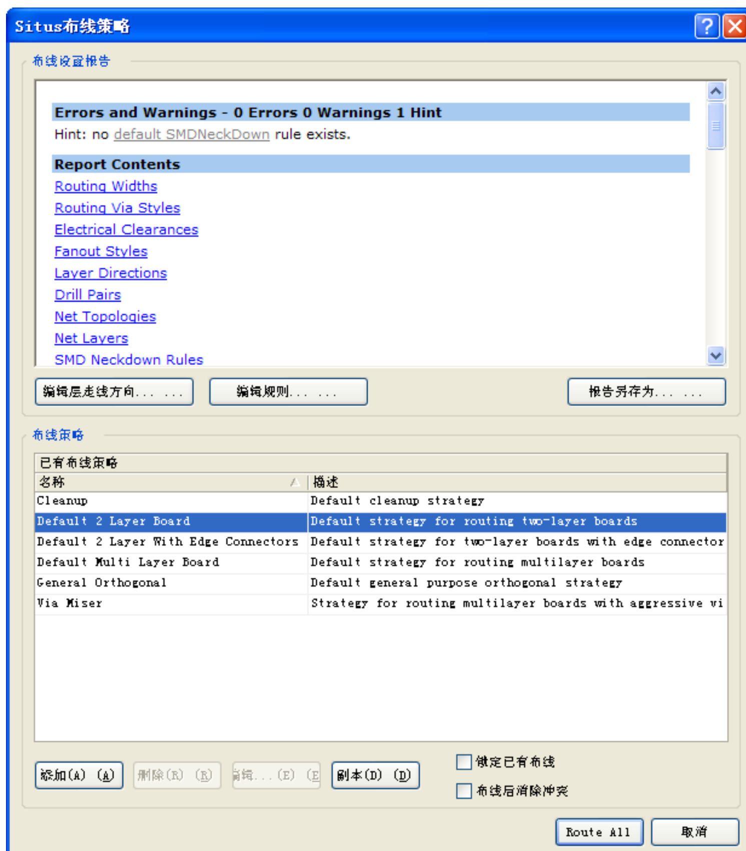



图 15-75 “Situs Routing Strategies”对话框

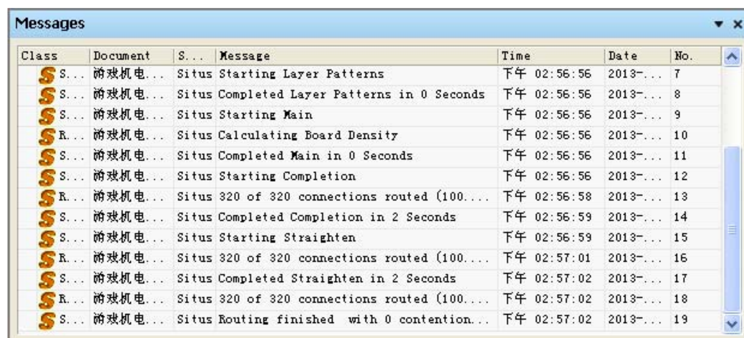



图 15-76 完成自动布线

# 15.7 项目层次结构组织文件

项目层次结构组织文件可以帮助读者理解各原理图的层次关系和连接关系。下面是电子游戏机项目层次结构组织文件的生成过程。

Step1 打开项目中的任意一个原理图文件，单击菜单栏中的“报告”→“Report Project Hierarchy（项目层次结构报表）”命令，然后打开“Projects（工程）”面板，可以看到系统已经生成一个“层次原理图.REP”报表文件。

Step2 打开“层次原理图.REP”文件，如图15-77所示。在报表中，原理图文件名越靠左，该原理图层次就越高。




图15-77 “层次原理图.REP”文件

责任编辑：曲彩云
封面设计：王　玮

计算机辅助设计课程教学规划教材
JISUANJIFUZHUSHEJIKECHENGJIAOXUEGUIHUAJIAOCAI

- 3ds Max 2014标准实例教程
- CorelDRAW X6中文版标准实例教程
- UG NX 9.0中文版标准实例教程
- CAXA电子图板2013标准实例教程
- AutoCAD 2014中文版标准实例教程
- Photoshop CS6中文版标准实例教程
- MasterCAM X7中文版标准实例教程
- Illustrator CS6中文版标准实例教程
- SolidWorks 2013中文版标准实例教程
- Altium Designer 13中文版标准实例教程
- Creo Parametric 2.0中文版标准实例教程
- Autodesk Inventor Professional 2014 中文版标准实例教程

上架指导：计算机　图形图像

ISBN 978-7-111-43713-0

地　　址：北京市百万庄大街22号　邮政编码：100037
电话服务　网络服务
社服务中心：(010)88361066　教材网：http://www.cmpedu.com
销售一部：(010)68326294　机工官网：http://www.cmpbook.com
销售二部：(010)88379649　机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：(010)88379203　封面无防伪标均为盗版




定价：59.00元（含1DVD）